FOR THE PEOPLE
FOR EDVCATION
FOR SCIENCE

LIBRARY
OF
THE AMERICAN MUSEUM
OF
NATURAL HISTORY

Bound at
A. M. N. H.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

QUATRIÈME SÉRIE

TOME II — 20 JUILLET 1922

(QUARANTE ET UNIÈME ANNÉE ; TOME LXXXII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(MM. F. Willaert et H. Dopp)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11
Compte chèques postaux 38022

1922

23-12031 Aug 3

LETTRE

DE

S. S. PIE XI

Le 27 avril de cette année, la Société scientifique de Bruxelles avait tenu à honneur d'exprimer au Souverain Pontife son respectueux attachement.

Sa Sainteté daigna répondre à cette adresse par la lettre autographe que nous sommes heureux de publier ici.

Au cher Fils, M. d'Ocagne,

Président de la Société scientifique de Bruxelles

Bruxelles.

PIE XI, PAPE

Cher Fils, Salut et Bénédiction Apostolique.

Nous avons accueilli avec une particulière bienveillance l'adresse par laquelle la Société scientifique de Bruxelles *a voulu, dans une délicate pensée et dans un hommage unanime, Nous exprimer sa filiale soumission et son fidèle dévouement.*

Très touché de cette démarche, Nous vous en exprimons, Cher Fils, ainsi qu'à tous les membres

de votre méritante Société, Notre vive reconnaissance. Vos ANNALES *aussi bien que votre* REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES *Nous sont bien connues, et les nombreuses et importantes publications de votre Société témoignent de sa vitalité féconde. En Nous réjouissant du développement qu'a pris votre Association, Nous formons le vœu que, fidèle à ses principes et à sa noble devise, elle se répande de plus en plus. Comme gage de succès croissants et des faveurs divines que Nous appelons sur vos travaux, Nous vous accordons de grand cœur, Cher Fils, à vous et à tous les membres de la* SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, *Notre paternelle bénédiction.*

Rome, du Vatican, le 25 mai 1922.

LE RADIUM

DÉCOUVERTE.—PROPRIÉTÉS.—UTILISATION(1)

La découverte du Radium fut assurément une des plus remarquables du XIXe siècle. Elle n'attira peut-être pas dès sa naissance l'attention du grand public, mais l'émoi des savants émerveillés par les singulières propriétés du nouveau venu se répand chaque jour davantage parmi les milieux cultivés. Cependant, pour beaucoup, le radium est encore un produit entouré de mystère, remarquable par son prix élevé et son action biologique tellement puissante que certains en redoutent l'emploi.

Ce radium, il faut le mieux connaître, pour rendre un juste hommage à la sagacité de ceux qui l'ont découvert et pouvoir apprécier les remarquables conceptions qu'a permises son étude.

Ce radium apporte à notre humanité souffrante non pas une panacée universelle, mais un agent thérapeutique remarquable grâce auquel le traitement des tumeurs bénignes et malignes prend une orientation nouvelle.

Son histoire est attachante comme un roman. Les étapes de sa découverte, l'exposé de ses propriétés, l'étude de sa généalogie et de sa lignée, le principe de son utilisation en biologie et en thérapeutique, tout mérite de retenir l'attention.

(1) Conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles, le mercredi 26 avril 1922.

I. — LA DÉCOUVERTE DE LA RADIO-ACTIVITÉ ET DU RADIUM

Quand le recul du passé, estompant les détails, laisse seulement en valeur les faits les plus saillants, les grandes découvertes paraissent souvent l'œuvre d'un seul homme. Nos arrière-petits-enfants se contenteront d'apprendre que M. et Mme Curie isolèrent le radium, et ouvrirent en l'étudiant un nouveau et important chapitre de physique. Ce sera justice. Mais nous, les contemporains, tout en rendant hommage au génie de ces deux savants, nous devons, pour notre instruction personnelle, nous intéresser aux détails qui ont préparé ou accompagné l'éclosion de cette brillante découverte. Cet exposé de faits n'a pas qu'un intérêt historique, il montre comment les grandes découvertes apparaissent à leur heure, préparées souvent longtemps, très longtemps à l'avance, favorisées par les préoccupations actuelles des contemporains et rendues possibles grâce aux perfectionnements du matériel des laboratoires. On verra de simples récréations scientifiques, des erreurs parfois, le hasard souvent, s'associer, en des proportions variées, à la géniale inspiration du chercheur perspicace.

L'histoire du radium est des plus suggestives à cet égard. Sa découverte est intimement liée à celle des rayons X, dont il est intéressant de rappeler l'origine, car ici encore, nous trouvons un ensemble de faits en faveur de la thèse énoncée concernant la génération des grandes découvertes.

La découverte des rayons X. — Remonter au déluge n'est point notre intention. Cependant, il faut citer les expériences réalisées par l'abbé Nollet qui étudia, au XVIIIe siècle, le curieux aspect des décharges électriques dans un œuf de verre où l'on faisait un vide progressivement croissant. La beauté des phénomènes lumineux

amena un souffleur de verre de Bonn, un nommé Geissler, à réaliser ces tubes singuliers qui, sous l'influence du passage de l'électricité, s'illuminent de couleurs vives et variées, faisant l'admiration des observateurs. Ces expériences presque enfantines suggérèrent à nos savants modernes l'idée d'analyser de plus près le phénomène.

Sir William Crookes, mort à Londres en 1919, à l'âge enviable de 87 ans, présenta en 1879 un remarquable travail sur la *matière radiante*. Lançant un courant de haute tension dans des tubes de verre, où l'on avait fait un vide aussi parfait que possible, il étudia, partant de la cathode (c'est-à-dire de la tige métallique réunie au pôle négatif de la source), des radiations nouvelles, appelées *rayons cathodiques*. Ces rayons invisibles se propageaient en ligne droite, révélant leur présence, soit en faisant briller les corps phosphorescents, soit en provoquant des phénomènes mécaniques mis en évidence par des expériences variées. Ces rayons sont déviés par l'aimant. Ils ne semblent pas sortir de l'ampoule. Cependant, un Autrichien, Lenard, démontra qu'ils étaient susceptibles de traverser une mince plaque d'aluminium et de se propager dans l'air libre où ils s'amortissaient rapidement.

Les travaux de W. Crookes eurent un retentissement énorme; tous les laboratoires acquirent ses tubes et partout l'on répéta ses expériences. Pendant 16 ans les physiciens firent des rayons X sans le savoir ! La plupart des tubes de Crookes, en effet, émettaient ces mystérieuses radiations. Comment ne les a-t-on pas découvertes en cherchant à vérifier si les rayons cathodiques sortaient de l'ampoule? L'heure n'était pas venue. Certains expérimentateurs cependant furent bien près de devancer Roentgen.

Lodge rapporte que Jervis Smith, d'Oxford, observa que ses plaques photographiques étaient voilées au voisinage des tubes de Crookes en activité. Simplement contrarié par cette constatation qui retardait la réalisa-

tion de ses expériences, il incrimina des effluves chimiques et, sans s'attarder davantage à rechercher les causes du phénomène, il se contenta de mettre ses plaques à l'abri, en dehors de son laboratoire. Voilà comment on passe à côté d'une grande découverte !

Servi en 1895, par un hasard semblable, Roentgen, de Wurtzbourg, se montra plus perspicace. Il avait fait l'obscurité complète dans son laboratoire : son tube de Crookes était entouré de papier noir ; des cristaux de platinocyanure de baryum se trouvaient, par hasard, sur sa table de laboratoire. Ils s'illuminèrent d'un vif éclat quand l'ampoule entra en activité. Un rayonnement invisible, différent des rayons cathodiques, sortait donc de l'ampoule. Sous son influence, les corps fluorescents s'illuminaient, et ceci malgré l'interposition entre la source et les cristaux de corps opaques à la lumière. Les recherches ultérieures montrèrent que les différents corps étaient, suivant leur composition chimique, plus ou moins perméables aux radiations nouvelles. Celles-ci impressionnaient plaques photographiques et corps fluorescents ; la radiographie et la radioscopie furent simultanément découvertes.

Les expériences récréatives de l'abbé Nollet, celles de Geissler, inspirèrent à Crookes ses travaux et Crookes fut en fait le précurseur de Roentgen. On lui rend hommage en donnant son nom aux tubes servant à faire les rayons X.

Ces tubes en activité présentent une belle fluorescence verte dans les régions frappées par les rayons cathodiques. *Cette particularité, en fait très accessoire* (1), *fut le point de départ de la découverte de la radioactivité de la matière.*

(1) Les tubes Coolidge ne présentent pas cette fluorescence et, si l'accord n'était pas unanime au sujet du peu d'importance de la fluorescence du verre, cette constatation en serait une preuve convaincante.

La radio-activité de la matière. — Le 13 janvier 1896, Henri Poincaré écrivait dans la REVUE GÉNÉRALE DES SCIENCES, un article où l'on trouve ce passage : « C'est le verre qui émet les rayons de Roentgen, et il les émet en devenant fluorescent. Ne peut-on alors se demander si les corps dont la fluorescence est suffisamment intense n'émettent pas, outre les rayons lumineux, des rayons X de Roentgen quelle que soit la cause de leur fluorescence ? »

Excités par la lumière ou d'autres radiations, divers produits brillent d'un vif éclat. Si la luminescence disparaît avec la cause qui la fait naître, le corps est appelé fluorescent : c'est le cas du platinocyanure de baryum et du verre. Si la luminescence persiste, la substance est dite phosphorescente. Tout le monde connaît ces images, ces statues lumineuses, qui, exposées à la lumière durant le jour, brillent d'un vif éclat durant la nuit. L'hypothèse de Poincaré était facile à vérifier. Il suffisait de prendre un corps phosphorescent, de l'exposer à la lumière pendant qu'il était placé sur une plaque photographique bien protégée contre l'action de la lumière visible. Les corps phosphorescents sont nombreux : les sulfures de baryum, de calcium, de zinc, sont les plus connus. Avec ces produits l'expérience devait mener à un résultat négatif (1).

Mais l'article de Poincaré retint l'attention d'Henri Becquerel. Celui-ci se souvint des travaux de son père, Edmond Becquerel, sur la fluorescence des sels d'uranium. Il possédait une superbe collection de ces cristaux, il y choisit du sulfate double d'uranyle et de potasse. Le sel fut exposé à la lumière dans les conditions ci-dessus décrites. Après plusieurs heures d'exposition, la plaque photographique montra au développement l'image des différents cristaux.

L'émulsion avait été impressionnée par des rayons

(1) H. et G. Niewenglowski soutinrent une opinion contraire, mais leurs conclusions ne furent pas vérifiées.

invisibles et pénétrants, émis par le sel d'urane durant son insolation. L'hypothèse de Poincaré semblait donc juste.

Henri Becquerel, heureusement, répéta cette expérience. Ayant un jour préparé plaque et cristaux, le soleil qu'il croyait nécessaire à la réussite de l'expérience ne se montra point. Il resta caché un, deux, trois, quatre jours. Quand il parut enfin, Becquerel jugea bon de développer la plaque qui, durant les jours de brume, avait été laissée dans un tiroir, en contact avec les cristaux. La plaque était impressionnée (1). L'uranium émettait donc *spontanément* des radiations invisibles, comparables aux rayons X. Cette émission spontanée caractérise ce que l'on a appelé la *radio-activité* de la matière. Cette découverte mémorable date du 1er mars 1896 (2).

Provoquée par une simple interrogation, apparaissant

(1) Tout amateur de photographie possède dans son laboratoire ou ses collections, le moyen de répéter l'expérience. Il peut même la rendre tout à fait curieuse en utilisant un cliché positif viré dans un bain d'urane. Les ombres du cliché sont alors constituées par un dépôt radioactif de valeur proportionnelle à la densité des noirs. Si ce positif est mis en contact avec une plaque vierge, il impressionne les sels d'argent. Les ombres très radioactives donnent une impression vigoureuse. Les pénombres, peu radioactives parce que moins riches en sel, ont peu d'action sur le bromure d'argent. On obtient au développement une épreuve positive reproduisant par simple contact et sans intervention de la lumière le cliché original dans tous ses détails. Un léger flou adoucit inévitablement les contours. L'interposition d'une feuille de papier noir entre les deux clichés n'empêche pas la réaction mais augmente le flou. Le temps de pose varie de 1 à 2 mois !

(2) Thompson rapporte dans son ouvrage *Radiations visibles et invisibles* (traduction Dunoyer : Paris, Hermann, 1914, pp. 269-272), que le 16 février 1896, il essaya d'impressionner une plaque photographique bien enveloppée de papier noir avec certaines substances fluorescentes et phosphorescentes. Il constata que seul le nitrate d'urane émettait un rayonnement capable de traverser le papier ou l'aluminium qui recouvrait ses plaques. Il transmit ses résultats à Stokes qui lui signala la toute récente communication de Becquerel. Les C. R. DE L'AC. DES SC. relatent en février 1896, p. 420, la première note de Becquerel sur les radiations uraniques.

peu de temps après la découverte des rayons X, elle venait à son heure. Cependant le phénomène découvert par Henri Becquerel l'avait été cinquante ans auparavant par Niepce de Saint-Victor ! Ce dernier était le parent de Nicéphore Niepce, dont le nom est lié à l'invention de la photographie. Mais la découverte de Niepce de Saint-Victor n'eut pas alors le moindre écho. Dédain et scepticisme : tel fut son sort. Comme Jervis Smith, Niepce de Saint-Victor constata un phénomène imprévu, mais, ne sachant en tirer parti, il ne découvrit pas la radioactivité ! Le moment n'était pas encore venu. Becquerel entreprit une étude détaillée des radiations uraniques, démontra leurs propriétés fondamentales et reconnut leur pouvoir de décharger les électroscopes.

Réduit à sa plus simple expression, l'électroscope est une tige métallique sur laquelle on fixe une petite feuille d'or. Cette tige peut être introduite dans un bocal de verre et maintenue en place par un bloc de soufre qu'elle traverse et qui assure son isolement. Si on approche de son extrémité libre une baguette de verre chargée d'électricité, par friction préalable, on voit la feuille d'or s'écarter de son support. L'appareil est chargé d'électricité. Comme l'air sec est un isolant parfait, la tige conserve sa charge, la feuille d'or reste toujours écartée ; mais si, par un moyen quelconque, telle la projection d'un faisceau de rayons X, on rend l'air conducteur au voisinage de la tige métallique, la feuille d'or tombe avec une vitesse proportionnelle à l'intensité du faisceau. Quand un gaz est frappé par des radiations invisibles, une molécule quelconque se trouve séparée en deux fragments ou ions chargés d'électricité. Un électron à charge négative se détache de la molécule et le reste forme un ion positif. Ces ions sont attirés (1) par toute surface chargée d'électricité de nom contraire, ils neutralisent sa charge en la

(1) Ce mouvement des ions constitue le courant électrique.

rencontrant. La feuille d'or tombe d'autant plus vite que cette neutralisation est plus rapide ; la vitesse de neutralisation dépend du nombre d'ions, et ceux-ci sont d'autant plus nombreux que les radiations sont plus abondantes.

Cette particularité a une importance capitale, car elle permet de comparer l'activité des différents corps dans lesquels on va rechercher les radiations de Becquerel.

Voici le terme de la période préparatoire où le hasard, l'erreur d'interprétation favorisent le savant ; nous allons voir maintenant comment des recherches méthodiques vont peu à peu mener à la découverte du radium.

La découverte du radium. — Ici commence l'œuvre d'une femme : Marie Sklodowska. Née en 1867, fille d'un professeur de physique de Varsovie, elle fit la connaissance de Pierre Curie, dans les laboratoires de l'ancienne Sorbonne. Celui-ci devint son époux. Modeste, mais remarquable physicien, il s'était occupé de cristallographie avec son frère, le minéralogiste Jacques Curie. Il découvrit avec lui le phénomène de la piézo-électricité, c'est-à-dire la propriété qu'ont les cristaux de dégager de l'électricité sous l'influence de la compression. Ces travaux l'amenèrent à réaliser un appareil plus précis que l'électroscope, le *quartz piézo-électrique*, électromètre des plus sensibles, que Mme Curie fut heureuse d'avoir à sa disposition pour ses études sur la radio-activité. Elle rechercha quels étaient les minéraux susceptibles de rendre l'air conducteur et découvrit que cette propriété était le propre des minerais d'uranium (1) et de tho-

(1) L'uranium est un métal, de poids atomique 238, isolé de la pechblende en 1842 par Péligot. Il émet ainsi que ses composés des rayons de Becquerel. Les composés uraneux sont verts et sans fluorescence. Les sels uraniques sont au contraire fluorescents. On les emploie en photographie pour le renforcement ou le virage des clichés. L'azotate d'urane est utilisé pour le dosage des phosphates. On fait usage des sels d'urane en métallurgie, en céramique, en verrerie et dans l'industrie des émaux. Les verres d'urane ont une belle fluorescence jaune vert.

rium (1). Elle fut surprise de constater qu'une pechblende de Joachimsthal, en Bohême, était *sept fois plus active* que les sels d'urane. La pechblende est un mélange complexe d'oxyde d'urane et autres métaux : argent, plomb, cuivre, nickel, cobalt et autres terres rares. On trouve ce minerai non seulement en Bohême, mais aussi en Suède, en Norvège, en Cornouailles, en Amérique.

La chalcolite est un autre minerai uranifère, phosphate double d'urane et de cuivre. Mme Curie compara l'activité d'une chalcolite naturelle avec une chalcolite artificielle, préparée avec du nitrate d'urane et du phosphate de cuivre purs. Ce produit était deux fois et demie moins actif que l'uranium métallique. Le minerai, au contraire, malgré toutes les impuretés formant sa gangue, était une fois et demie plus actif que l'uranium !

La conclusion s'imposait (2) : Si certains minerais, contenant de l'uranium et de nombreuses substances inertes,

Les minerais uranifères sont très répandus, il y en a en Europe, en Amérique, à Madagascar, au Tonkin. On peut, d'après Muguet, les classer par ordre d'importance industrielle comme suit :

Autunite du Portugal (phosphate d'urane et de chaux découvert en 1800 dans l'Autunois).

Carnotite d'Amérique (urovanadate de potasse).

La pechblende de Saint-Joachimsthal.

Les minerais de Madagascar (composition chimique variée).

Certains de ces minerais sont riches en uranium, telle la pechblende qui en contient 70 et même 80 %. La plupart sont pauvres; les autunites et les carnotites ne contiennent guère que 2 %. Mais les gisements américains couvrent près de 200 000 hectares. Ils sont industriellement rémunérateurs grâce à l'extraction du vanadium. La production annuelle mondiale de l'uranium se chiffre par dizaine de tonnes.

(1) Le thorium est un métal à poids atomique 232. On le retire en même temps que le cérium de la monazite contenant habituellement 4 % d'oxyde de thorium. On en traite chaque année plusieurs centaines de tonnes pour alimenter l'industrie de la toile de bec Auer. Celle-ci, radioactive grâce au thorium qu'elle contient, peut être déposée sur le double papier noir enveloppant une plaque photographique. Elle y reproduit son image. Deux jours de pose sont nécessaires.

(2) Elle fut annoncée à l'Académie des Sciences le 12 avril 1898.

sont plus actifs que l'uranium pur, c'est qu'ils contiennent une *substance radio-active plus puissante que l'uranium lui-même.* Ce corps, il fallait le découvrir et l'isoler. Mme Curie entreprit, en commun avec son mari, la recherche de cet élément nouveau.

Quand Christophe Colomb se lança par l'Océan, il avait la certitude de découvrir une terre nouvelle. M. et Mme Curie furent guidés par une conviction semblable et ils eurent, eux aussi, le grand mérite de ne pas se laisser décourager par le labeur immense qu'ils eurent à accomplir. Ils se mirent au travail dans un modeste laboratoire de l'École de Physique et de Chimie de la Ville de Paris. Il fallait séparer d'une gangue inerte une très minime quantité de substance. Les manipulations furent longues et compliquées, nécessitant la manutention de quantités importantes de minerais, d'eau et de produits chimiques.

M. et Mme Curie furent guidés dans leurs recherches en dosant le pouvoir radio-actif des éléments : filtrat et précipité, séparés au cours des manipulations. C'était véritablement une chimie de l'invisible, nécessitant une technique adéquate. Ils obtinrent ainsi un dépôt de bismuth et un dépôt de baryum fortement radio-actifs. Or, ni le bismuth, ni le baryum de commerce ne sont radio-actifs. La radio-activité du dépôt était donc due à des produits surajoutés. En souvenir de sa patrie d'origine, Mme Curie appela *polonium* le bismuth radio-actif et *radium* le baryum radio-actif. Un traitement ultérieur permit d'obtenir des produits de plus en plus purs. La première communication de M. et Mme Curie, faite à l'Académie des Sciences sur le polonium, date de juillet 1898. Celle concernant le radium est du mois de décembre de la même année. Un troisième nom signe la seconde note, celui de M. Bémont (1), le collaborateur de M. et Mme

(1) Bémont était chef des travaux de chimie à la même École que Pierre Curie. A la demande de ce dernier, il traita environ 5 kg

Curie. A la suite de leurs premiers travaux, une puissante Société de produits chimiques offrit aux savants la main-d'œuvre et le matériel indispensables ; le professeur Suess, de Vienne, leur fit envoyer, par le Gouvernement autrichien, la pechblende nécessaire à la continuation de leurs travaux. Des dons anonymes, des prix divers encouragèrent M. et Mme Curie dans leur œuvre difficile.

La féconde collaboration des deux savants fut malheureusement interrompue par la mort brutale de Pierre Curie, écrasé, le 19 avril 1906, par un camion lourd (1). Depuis lors, Mme Curie continue seule ses travaux (2).

Elle a quitté son modeste laboratoire primitif et dirige à l'heure actuelle, à Paris, l'Institut du Radium ouvert rue Pierre Curie et entretenu à frais communs par l'Université de Paris et l'Institut Pasteur.

de pechblende et départit la masse en 8 à 10 groupes chimiques. Loin de se prévaloir de cette collaboration, Bémont avec une touchante simplicité laisse aux Curie tout le mérite de la découverte, déclarant qu'il avait été heureux de rendre à P. Curie un de ces petits services comme on s'en doit entre collègues.

(1) Pierre Curie, fils d'un médecin, était né à Paris en 1859. Il était attaché comme professeur à l'École municipale de Physique et de Chimie industrielle de la Ville de Paris. En 1903 il reçut la médaille Davy, une des plus hautes récompenses de la Société Royale de Londres. La même année le prix Nobel lui fut attribué en partage avec sa femme et avec Becquerel. En 1904 on créa pour lui à la Sorbonne une chaire de Physique générale et on y adjoignit un laboratoire dont, quelques mois après, Madame Curie fut nommée chef des travaux. Il fut nommé membre de l'Académie des Sciences en 1905. Pierre Curie était un homme d'une grande simplicité et d'une grande modestie. Indifférent aux distinctions honorifiques récompensant ses travaux, il acceptait volontiers prix et subventions, les considérant comme d'utiles contributions à son œuvre scientifique.

(2) L'Institut du Radium comprend deux laboratoires autonomes, mais travaillant en collaboration étroite. Le Pavillon Curie est rattaché à la Chaire de Physique générale de la Faculté des Sciences. Madame Curie y a pour collaborateur le professeur Debierne.

Le Pavillon Pasteur s'occupe, sous la direction du professeur Regaud, des applications biologiques et médicales.

On se souvient qu'en 1921, une Américaine, Madame Melonay, vint rendre visite à Mme Curie, et fut stupéfaite d'apprendre qu'elle avait à sa disposition un seul gramme de radium pour poursuivre ses travaux ! A son retour aux États-Unis, elle ouvrit une souscription et recueillit parmi les femmes d'Amérique les fonds nécessaires pour offrir à Mme Curie un second gramme de radium. Ce royal cadeau fut exceptionnellement remis « à la plus grande femme de France » par le Président des États-Unis lui-même (1).

Terminons cette première partie en insistant sur les circonstances heureuses qui favorisèrent la géniale inspiration de Mme Curie. Elle hérita de son père le goût du laboratoire ; son union avec Pierre Curie fit vivre auprès d'elle un homme auteur d'une instrumentation particulièrement précieuse pour ses recherches. Pierre Curie lui-même dut à ses travaux faits en collaboration avec son frère, la réalisation du *quartz piézo-électrique* Quant à Henri Becquerel, il doit aux travaux de son père (2) d'avoir choisi les sels d'uranium pour essayer de répondre expérimentalement à l'interrogation posée par Poincaré. Ce dernier fut en quelque sorte l'animateur de la découverte de la radio-activité, provoquée par une simple

(1) Il est de tradition que le Président des États-Unis ne doit pas remettre à la Maison Blanche des cadeaux faits par la nation. Mac Kinley refusa de remettre à Dewey l'acte de propriété qui lui fut offert par la nation américaine en reconnaissance de ses services, et le Président Wilson ne consentit pas à remettre au général Pershing l'épée d'honneur qui lui fut offerte par la nation américaine à son retour de la campagne de France.

(2) Les Becquerel se signalent depuis quatre générations par leurs remarquables travaux. Antoine-César Becquerel, né en 1788, mourut en 1878. — Alexandre-Edmond Becquerel vécut de 1820 à 1891. — Antoine-Henri Becquerel, né en 1852,est mort en 1908. Comme son père et son grand-père, il fut membre de l'Institut. Il laisse actuellement un fils, Jean, marchant sur ses traces. Ancien élève de l'École Polytechnique, il est titulaire au Muséum d'Histoire naturelle de la Chaire occupée par son père et son grand-père

association d'idées, rendue possible par la trouvaille de Roentgen.

Dans le domaine scientifique « tout n'est point dit » et l'on ne vient jamais trop tard, mais trop tôt quelquefois.

Et ce champ ne se peut tellement moissonner
Que les derniers venus ne trouvent à glaner.

Bien au contraire, celui qui récolte n'a pas toujours fait les semailles et le fécond labeur de tous favorise l'éclosion des grandes découvertes.

II. — LES PROPRIÉTÉS DU RADIUM

Après avoir exposé l'histoire de la découverte du radium, examinons les propriétés de ce merveilleux produit. Nous interrogerons successivement le chimiste et le physicien.

Le chimiste va nous répondre avec sécheresse.

Le radium est un métal proche parent du baryum. De tous les corps radio-actifs, il est le seul qui soit isolé et caractérisé par son spectre et par son poids atomique.

Son spectre a plusieurs lignes bien définies ; 2 particulièrement sont caractéristiques, l'une de longueur d'onde 3649, l'autre de longueur d'onde 3814.

Le poids atomique égale 226.

Le radium existe à l'état de sels, sels qui sont plus ou moins riches en radium métallique :

Le carbonate de radium	contient	79 %	de radium	métall.
Le chlorure de radium	»	76 %	»	»
Le sulfate de radium	»	70 %	»	»
Le chlorure de rad. hydraté	»	67 %	»	»
Le bromure de radium	»	58 %	»	»
Le bromure de rad. hydraté	»	53 %	»	»

La préparation des sels de radium reste actuellement

encore une opération complexe, légitimant le prix élevé (1) atteint par ce produit. La quantité de radium extraite, variable suivant la richesse du minerai, est environ la milliardième partie des produits mis en œuvre. Précisons par les chiffres empruntés à Muguet (2) : Dix milligrammes de radium sont extraits de 4000 tonnes de minerai. On utilise pour le traitement : 8000 litres d'eau, 1900 kg. de produits chimiques. On grille le minerai avec du carbonate de soude, on lave à l'eau, on traite par l'acide sulfurique étendu. L'urane se dissout, les substances radio-actives précipitent, et sont soumises à divers traitements. On obtient finalement un précipité de carbonate de baryum et de radium. Le produit est transformé en chlorure. La première opération est terminée.

Une tonne de minerai donne environ 8 kg. de chlorure de baryum radifère, produit 60 fois plus radio-actif seulement que l'uranium. Pour obtenir un produit actif (le radium est environ 2 000 000 de fois plus actif que l'uranium), il faut séparer le radium du baryum. On met à profit la différence de solubilité des deux sels. Si l'on fait cristalliser la solution, les cristaux qui se forment les premiers sont plus riches en radium que les chlorures restant dans l'eau mère. Ces cristaux sont recueillis et dissous et la solution laisse déposer des éléments encore plus riches en radium que ceux de la première opération. Grâce à des cristallisations successives et multiples, on obtient le sel de radium à l'état pur.

En 1919, Madame Curie a réussi à isoler le radium métallique en décomposant par l'électrolyse avec une cathode de mercure et une anode en platine une solution de chlorure de radium pur. Elle obtint ainsi un amalgame

(1) On trouve actuellement le bromure de radium hydraté à 750 fr. le milligramme, ce qui porte à 1400 fr. le milligramme de radium métallique.

(2) Revue Scientifique, 1915, pp. 622-625.

de radium, c'est-à-dire une combinaison de radium et de mercure. Cet amalgame, distillé dans l'hydrogène pur, laisse comme résidu le radium. C'est un métal s'altérant à l'air libre et noircissant rapidement. Il adhère fortement au fer, détermine sur papier blanc un noircissement analogue à la brûlure, décompose l'eau, se dissout en grande partie en laissant un résidu noirâtre, soluble presque totalement dans l'acide chlorhydrique étendu d'eau.

Il y aurait certainement plus à dire sur la chimie du radium, mais nous craignons d'entrer dans des détails trop techniques et nous avons hâte d'interroger maintenant le physicien. Il nous racontera le *roman du radium*.

Nous disons « roman », tant sont merveilleuses et inattendues les propriétés de ce métal prodigieux, dont les manifestations méritent presque le nom de manifestations vitales. La métaphore n'est pas trop hardie pour un produit dont nous verrons la naissance, la vie, la mort et dont nous étudierons la généalogie et la lignée.

LES MANIFESTATIONS VITALES DU RADIUM. — Nous entendons par manifestations vitales du radium, les phénomènes extérieurs par lesquels il nous révèle son existence. Le radium est à la fois source de chaleur, de lumière et d'électricité.

Le radium est une *source de chaleur*, sa température marque 3° de plus que celle des corps environnants. Il est facile de mettre le phénomène en évidence. On verse dans un tube à essai un peu de chlorure d'éthyle, corps entrant en ébullition à basse température. On échauffe le tube avec les mains et bientôt le liquide se met à bouillir. Si on l'abandonne alors à la température de la salle, l'ébullition s'arrête. A ce moment, laissons descendre dans le liquide un tube de radium, le liquide dont la température est proche de l'ébullition recommence à bouillir. Le phénomène s'arrête dès qu'on retire le radium et l'on répète à volonté l'expérience.

On peut aisément mesurer avec précision, dans un calorimètre à glace, la quantité de chaleur que dégage un poids donné de radium. On trouve ainsi 135 calories-grammes par heure pour un gramme de radium. Un bon feu brûle 5 kg. de charbon en 60 minutes. Pour obtenir perpétuellement les 8000 calories dégagées par cette combustion, il nous suffirait de posséder 59 grammes de radium, poids minime en apparence, poids énorme cependant, car la production mondiale actuelle du radium se chiffre par moins de 100 grammes.

Mais sortant du domaine de l'utopie, voyons si la chaleur dégagée par le radium peut avoir une importance pratique. Oui, car le radium, produit le plus précieux et le plus cher, est aussi le plus répandu. On en trouve, en quantité minime, il est vrai, dans presque toutes les roches, et sa présence se révèle par une élévation de température appréciable. Lors du percement du Simplon, les travaux faillirent être arrêtés par une température insolite à l'intérieur du tunnel. Une plus grande richesse en radium des roches du massif, aurait fait avorter l'entreprise.

D'après les calculs de Joly, deux millièmes de milligramme de radium par tonne (c'est la richesse moyenne des roches) suffiraient à faire accroître de 1 800° la température du noyau central de la terre. Dans ces conditions, nous sommes assurés contre le refroidissement. Mais cette constatation ne confère pas l'immortalité à notre planète. La croûte terrestre cédera sans doute tôt ou tard sous l'influence des pressions énormes dues à l'élévation constante de la température (1).

(1) On peut se demander, en considérant la chaleur dégagée par le soleil, si la teneur en radium de cet astre est la cause de la puissance de son émission calorifique. Le soleil dégage 430 calories par heure et par mètre cube. Si toutes ces calories étaient dues au radium, il faudrait que ce produit existât dans le soleil à la dose de 3 grammes 2 par mètre cube. Or, comme on le comprendra mieux

Le radium est une *source de lumière*, lumière comparable à celle du ver luisant ; lumière froide, différant par conséquent de nos sources artificielles d'éclairage dont l'élévation excessive de température réalise un véritable gaspillage d'énergie, mais lumière perpétuelle qui jette des feux discrets sans, pour ainsi dire, se consumer jamais.

Le radium est une *source d'électricité*, et l'on a pu obtenir, grâce à lui, des différences de potentiel de 250 000 volts en laissant s'accumuler la charge. C'est là un chiffre impressionnant, retenez-le en attendant de savoir pourquoi le radium émet constamment de l'électricité. Si l'intensité du débit n'est pas comparable à celle de nos machines industrielles, la continuité de la production (nous devrions dire la perpétuité) nous plonge dans l'étonnement.

Chaleur, *lumière*, *électricité*, émises ainsi spontanément, nous indiquent que l'atome de radium est un réservoir inépuisable d'énergie et cette constatation nous a surpris à une époque où l'on disait : rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme.

Chaleur, *lumière*, *électricité* sont fournies en quantité faible, mais avec une remarquable constance durant des années et des siècles, la vie moyenne du radium étant de 2 440 ans.

Si, au lieu de dissiper en un temps aussi long l'énergie

après avoir lu certaines considérations ultérieures, en admettant que le soleil soit constitué par de l'uranium pur, il est impossible que la matière solaire puisse contenir une telle quantité de radium, à moins que des différences de température et de pression ne modifient l'allure d'un phénomène que les conditions d'expérimentation sur notre planète font passer pour immuable. Il semble cependant que la radio-activité est une des causes de l'élévation de la température du soleil. Mais s'il en est ainsi, on peut se demander pourquoi les radiations invisibles que nous allons décrire dans un instant, ne parviennent pas jusqu'à nous. Elles sont heureusement arrêtées par les couches atmosphériques solaires et terrestres dont l'opacité est équivalente à celle d'une couche mercurielle de 79 cm. Derrière ce manteau protecteur, nous sommes complètement à l'abri des radiations invisibles qui auraient sur les cellules vivantes une action déplorable.

qu'il recèle, le radium dégageait son énergie potentielle avec la même vitesse que le coton-poudre, nous assisterions à une explosion d'une puissance telle qu'on ne saurait l'imaginer !...

Mais, jusqu'à ce jour, il a été *impossible de modifier soit en plus soit en moins la désintégration spontanée du radium*, cause première des phénomènes observés.

Un coffre-fort s'entr'ouvre par intermittence, laisse échapper une partie de son contenu et nous révèle les trésors d'énergie qu'il recèle jalousement, sans nous permettre d'y puiser à volonté.

Le secret sera-t-il un jour découvert ? Mystère ! Ce jour-là l'œuvre de Mme Curie recevrait son couronnement. Car, si nous pouvions utiliser à notre gré l'*énergie intraatomique dont elle a découvert l'existence*, nous aurions à notre disposition un réservoir d'énergie d'une importance phénoménale et la carence de la houille cesserait d'être angoissante, car si le radium est peu abondant, la production annuelle de l'uranium se chiffre, elle, par plus de 10 tonnes, et si l'on pouvait hâter la désintégration de l'atome radio-actif, l'uranium nous fournirait la matière première rêvée. 400 gr. d'uranium recèlent autant d'énergie que 160 tonnes de charbon ! Cette énergie est à peine appréciable, car elle se dépense en 8 000 000 000 d'années. Elle deviendrait utilisable si l'on pouvait intervenir et accélérer la production d'un phénomène dont la spontanéité est la caractéristique.

LE RAYONNEMENT DU RADIUM. — Nous venons de voir le radium source d'énergie calorifique, lumineuse, électrique ; ces propriétés, le radium les doit à son pouvoir rayonnant. Ce rayonnement est invisible, mais se traduit à nos sens de multiples manières. Il impressionne les plaques photographiques, mais cette action n'est pas utilisable pratiquement.

Il ionise l'air, décomposant les molécules en ions positifs

et en ions négatifs, et par ce mécanisme l'air devient conducteur, les électroscopes se déchargent. La vitesse de décharge étant proportionnelle à l'intensité du rayonnement, on possède ainsi une précieuse méthode de dosage des substances radioactives que l'on pèse jusqu'au $\frac{1}{50\,000\,000}$ de milligramme.

Cette ionisation est assez intense pour que l'on ait songé à augmenter l'efficacité du paratonnerre en chargeant la pointe avec du bromure de radium, et l'on se demande s'il ne sera pas possible, par un moyen analogue, de soutirer l'électricité atmosphérique en quantité suffisante pour qu'elle soit susceptible d'utilisation pratique.

Le rayonnement provoque la luminescence d'un certain nombre de corps. Sous son influence le platinocyanure de baryum, le sulfure de zinc brillent d'un vif éclat. Mais pour obtenir, par cet artifice, une luminosité équivalente à celle d'une bougie, plusieurs milligrammes sont nécessaires, et, au prix de 1 400 fr. le milligramme, on ne peut réaliser par ce moyen un flambeau démocratique !

Mais le radium peut être incorporé à un sulfure de zinc, dont il excite perpétuellement la luminescence ; 0 milligr. 10 de bromure de radium suffisent pour un gramme de sulfure, et on obtient ainsi des peintures lumineuses très utiles. Les montres à indications visibles dans l'obscurité furent la première application de ce principe. Au cours de la guerre ces peintures ont été très employées, soit pour rendre utilisables certains engins durant la nuit, soit pour signaler d'une façon discrète les directions à prendre.

Le diamant brille avec intensité quand on l'expose au rayonnement du radium. C'est là, vous semble-t-il, un moyen permettant — à condition d'avoir du radium — de contrôler l'authenticité de nos achats. Un ami vint nous voir un jour portant une quarantaine de diamants destinés à des bijoutiers. Vouloir lui montrer que nous

étions fin connaisseur, fut, de notre part, un sentiment assez humain. Avec un accent de triomphe nous lui fîmes remarquer deux pierres dont la luminosité n'était pas excitée par le radium. Étaient-elles vraies ? Notre ami, non sans une pointe d'émotion, les examina au jour. « Ce sont, ajouta-t-il, les deux plus belles et les deux plus pures de tout le lot. » Si le radium permet, apparemment, de discerner le faux du vrai, c'est donc à condition de comparer des échantillons de valeur moyenne. Il est possible que les diamants les plus purs ne réagissent pas à son rayonnement, et ce serait un moyen de les reconnaître. La phosphorescence des corps chimiques courants est due à la présence d'une impureté. En est-il de même pour le diamant ? C'est possible, et la question mérite d'être approfondie. Mais nous avons été découragé en constatant que l'œil du joaillier exercé permettait plus simplement une expertise précise.

La luminosité du radium signalée tout à l'heure est un phénomène d'autoluminescence. Les cristaux brillent sous l'influence de leur propre rayonnement.

Quand le rayonnement atteint les milieux oculaires, il les rend luminescents. Cette lumière interne impressionne directement la rétine et certains aveugles peuvent la percevoir : ceux qui conservent intacts cônes et bâtonnets malgré une opacité cornéenne ou cristalline qui les prive de l'usage normal de la vue. Ne croyez point pour cela que le radium puisse faire voir les aveugles, il peut leur donner une impression lumineuse et c'est tout ; cette propriété pour des raisons diverses n'est susceptible d'aucune application.

Quand le rayonnement du radium rencontre un obstacle matériel, cet obstacle devient à son tour un centre d'émission de radiations invisibles constituant le *rayonnement* dit *secondaire*.

Dans ce rayonnement on trouve des rayons diffusés identiques à ceux de la source principale, des rayons

corpusculaires et enfin des rayons dont la qualité dépend de la composition chimique de l'obstacle.

Ce rayonnement est très facile à mettre en évidence, soit avec l'électroscope, soit par la méthode photographique. Employons cette dernière méthode. Prenons une plaque métallique dont une face est recouverte de radium. Un cliché, enveloppé de papier noir, est placé sur une table ; nous y déposons notre appareil de telle façon que le métal repose sur le papier, le rayonnement étant librement envoyé dans la direction du plafond. Plaçons maintenant au-dessus du radium une petite cloche métallique, en plomb par exemple. Répétons l'expérience sur une autre plaque de même sensibilité, mais recouvrons cette fois le radium d'une cloche en bois ayant la même dimension que celle en plomb. Développons. Les clichés ayant subi la même exposition seront développés durant le même temps. Sur les deux négatifs nous verrons une surface impressionnée ayant exactement la forme et les dimensions du périmètre de la cloche, mais quand le bois fait fonction de radiateur, la plaque est peu impressionnée ; elle l'est beaucoup plus quand il s'agit du plomb.

Ce rayonnement secondaire a une importance considérable en pratique médicale. C'est peut-être à sa production que l'on doit l'efficacité des radiations traversant les tissus. Nous reparlerons plus loin de l'action biologique du radium, base fondamentale de l'utilisation thérapeutique de ce corps.

Signalons à la suite des propriétés physiques l'activité chimique du rayonnement.

Il décompose l'eau, transforme l'iodure mercurique en iodure mercureux et réalise un certain nombre d'actions analogues sur divers sels. Nous parlerons plus loin de la transmutation qu'il est susceptible de réaliser.

Si tous ces phénomènes mettent en évidence l'existence d'un rayonnement invisible, ils ne nous renseignent pas sur sa nature, ni sur sa complexité. Cherchons à nous documenter.

Quand on place du radium dans l'entrefer d'un puissant électro-aimant, on constate que le pinceau unique de radiations se trouve décomposé en trois éléments et l'on distingue des rayons *alpha* déviés à droite, des rayons *bêta* déviés à gauche et des rayons *gamma* qui ne sont pas influencés.

Cette déviation par l'aimant indique que les *alpha* sont chargés d'électricité positive, les *bêta* d'électricité négative.

Chaque catégorie de rayons a une histoire. De cette histoire nous retiendrons seulement les phénomènes les plus frappants.

1° **Les rayons alpha.** — Les rayons *alpha*, de beaucoup les plus nombreux (ils forment 92 % du rayonnement), sont constitués par des particules matérielles chargées d'électricité positive. Leur pouvoir pénétrant est minime : 7 centimètres d'air, 6 centièmes de mm. d'aluminium les arrêtent. C'est la conséquence de leur masse relativement énorme et de leur vitesse relativement minime. Leur masse a l'ordre de grandeur de l'atome d'hélium, qui est quatre fois plus lourd que l'atome d'hydrogène, le plus léger connu. Leur vitesse atteint 15 000 kilomètres par seconde. Une particule *alpha* pourrait faire en moins de 3 secondes le tour de la terre. Si un milligramme de matière cheminait avec cette vitesse (dite relativement minime), il aurait la même puissance destructive qu'une tonne et demie lancée par un canon.

Cette comparaison montre la quantité colossale d'énergie libérée par le radium. Si vous vous rappelez l'élévation de température d'une balle s'écrasant contre un mur, au moment où elle est animée d'une misérable vitesse de 500 mètres par seconde, vous concevez sans peine la raison de l'élévation de température du radium ; ses éléments subissent d'une façon continue un bombardement dont l'action balistique est des plus appréciables.

L'étude du rayonnement *alpha* a permis des déductions

théoriques de la plus haute importance en permettant d'étendre d'une façon inespérée le champ de nos connaissances concernant la structure de la matière et la composition de l'atome.

Le mystère des atomes. — L'atome devait être, son nom l'indique, une particule indivisible aussi bien physiquement que chimiquement. L'atome, hier particule matérielle indivisible, n'est plus aujourd'hui que *la plus petite fraction de matière pouvant entrer en jeu dans une réaction chimique.* L'atome élément simple au point de vue chimique (car il ne peut se désagréger sans perdre sa personnalité propre), est néanmoins un corps complexe composé d'éléments fondamentaux que nous pouvons voir et compter ! Que diraient les physiciens d'autrefois s'ils pouvaient aujourd'hui constater de leurs yeux la désintégration de l'atome, compter même les éléments qui résultent de la dislocation spontanée de cet indivisible ? Ce prodigieux résultat est obtenu le plus simplement du monde avec le radium. Une quantité infinitésimale de ce produit portée par la pointe d'une épingle est placée devant un écran de sulfure de zinc (1). Cet écran est bombardé par les particules *alpha* et l'on peut, au moyen d'une simple loupe grossissante, suivre les effets du bombardement. Chaque fois qu'une particule rencontre un cristal de l'écran, elle le brise. Cassez dans l'obscurité un morceau de sucre, vous verrez une lueur (phosphorescence mécanique). C'est un phénomène de même ordre que nous observons ici, et chaque point recevant un projectile *alpha* donne une lueur perceptible. On peut compter facilement les éclatements et connaître, par conséquent, avec précision, le nombre d'atomes émis par un poids donné de radium, en un temps déterminé. C'est là un

(1) C'est le spinthariscope de Crookes. On peut observer aisément le phénomène en regardant dans l'obscurité à un grossissement suffisant les chiffres d'une montre lumineuse.

phénomène prodigieux. Mais écoutez encore et admirez les remarquables conclusions qui découlent du phénomène.

On détermine l'existence de 273 milliards d'atomes dans un milligramme de radium. Considérons ce qui se passe dans un poids 273 fois plus faible contenant 1 milliard d'atomes. Toutes les 80 secondes, un atome se détruit en émettant une particule *alpha*. Ceci correspond à une destruction annuelle de 394 200 atomes, et il est facile de trouver qu'en 1600 ans (1), la moitié des molécules du poids considéré sera détruite. Ainsi, le radium, s'il dégage de l'énergie, s'affaiblit progressivement, quoique avec une lenteur enviable. Si nous considérons 1 milliard d'êtres humains, il en meurt un toutes les trois secondes. Si nous considérons 1 milliard d'atomes de radium, il en meurt un toutes les 80 secondes.

Quand on dit que les rayons *alpha* sont des atomes lancés dans l'espace, ce n'est point une hypothèse. Non seulement ces projectiles sont comptés, mais on arrive à mesurer l'étendue de leur parcours, à matérialiser leur trajectoire, à la photographier !

Le premier point est facile à vérifier au moyen d'un spinthariscope, où l'on peut faire varier la distance du radium à l'écran. Différents produits émettent des *alpha* et le parcours de ces rayons dans l'air à 15° varie entre 2 c. 5 pour ceux de l'uranium et 8 cm. 6 pour ceux du thorium. Leur arrêt se fait brusquement quand ils arrivent à la limite indiquée.

Le second point est prodigieusement intéressant, car sa vérification donne des images documentaires du plus grand intérêt. Dans une atmosphère saturée d'humidité,

(1) Il ne faut pas confondre la période de désactivation 1600 ans, terme durant lequel le corps perd la moitié de sa radioactivité et la vie moyenne 2440 ans. Dans le genre humain il y a des gens qui meurent à tous les âges, on peut cependant déterminer la durée moyenne de la vie humaine.

la condensation de la vapeur d'eau ne se produit pas en l'absence de poussière. Si on y provoque la formation d'ions, il se forme une condensation des gouttes sur les ions jouant le rôle de corps étranger et il y a autant d'ions que de gouttelettes. Ces gouttelettes sont disposées en file (1) sur quelques centimètres de longueur, matérialisant ainsi la trajectoire de chaque rayon *alpha* sous la forme d'un trait rectiligne et continu s'arrêtant brusquement quand l'énergie est épuisée. Quand une particule *alpha* ionise le gaz sur son passage, elle produit environ 200 000 ions disposés sur son trajet.

En utilisant le pouvoir renforçateur des audions, on peut même faire entendre à tout un auditoire une série de sons, chaque son indiquant la projection d'une particule *alpha*.

Tout ceci est vraiment prodigieux. Mais il ne suffit pas au physicien moderne de voir, de compter les atomes, il arrive à en mesurer les dimensions !

D'après la conception moderne l'atome est constitué par un noyau chargé positivement. Autour de lui gravitent des électrons en nombre variable suivant la charge du noyau. Le noyau de tous les atomes est, pense-t-on, composé d'atomes d'hydrogène avec addition d'électrons négatifs. Or la dimension de ce noyau peut être estimée d'après la déviation que subit dans son parcours une particule *alpha* le bombardant. On trouve (2) ainsi que le diamètre du noyau des atomes lourds est de l'ordre de 4×10^{-12} m., et celui des atomes légers, l'hélium par exemple, de 5×10^{-13} m.

(1) La visibilité des gouttelettes est possible grâce à un éclairage approprié. L'expérience est des plus démonstratives et Takeo Shimizu a imaginé un dispositif des plus simples qui permet à un groupe d'observateurs de voir très distinctement ce curieux phénomène. Cet appareil fut exposé à la Société de Physique, à la réunion de Pâques de cette année, par la firme « British Scientific Apparatus Manufacturers L. T. D. ».

(2) Rutherford, *La désintégration artificielle des éléments*. Conférence du 20 avril 1922 à la Société Française de Physique.

La transmutation fait expérimental (1). — L'étude du rayonnement *alpha*, féconde en résultats, nous réserve encore des surprises et non des moindres ! Rutherford et Royds enferment une grande quantité d'émanation (nous définirons ce mot plus loin) dans une très mince (2) ampoule de verre. Les *alpha* sortent, sans effraction, du premier tube de verre, et se répandent dans une seconde enceinte hermétiquement close (3) dont ils ne peuvent traverser les épaisses parois ; toutes les vérifications ont été faites pour se mettre à l'abri d'erreurs. Après plusieurs jours d'expérience, on constate, grâce à l'analyse spectrale, la présence d'hélium dans le gaz du tube extérieur. La conclusion s'impose : les rayons *alpha* sont des atomes d'hélium en mouvement et portant une charge positive. Ils deviennent gaz inerte après avoir perdu leur vitesse et neutralisé leur charge. En se détruisant, l'atome radium envoie dans l'espace un projectile *alpha* dont nous savons la nature et laisse un résidu que nous étudierons plus loin sous le nom d'émanation. Nous nous trouvons pour la première fois en présence de ce phénomène prodigieux : *la transformation d'un corps simple, radium, en deux autres corps simples : l'hélium et l'émanation.* L'exposé ultérieur de la théorie de la désintégration des corps radioactifs montre par ailleurs de nombreux exemples de transmutation spontanée.

Verra-t-on un jour comblé le rêve de la vieille Alchimie? Arrivera-t-on un jour à transformer en or soit le plomb, soit un métal de poids atomique tout proche de celui de l'or ? Il y a loin de la coupe aux lèvres et cependant on peut provoquer la dislocation du noyau atomique et

(1) La transmutation est la conversion d'un élément en un autre. Dans les transformations radioactives un atome se décompose en deux autres ; le terme « transmutation » n'est donc pas rigoureusement exact.

(2) 1/100e de millimètre.

(3) On y fait un vide parfait.

réaliser par conséquent artificiellement la transmutation de certains corps !

Ramsay avait cru constater la production du néon et la libération du lithium en partant du cuivre. Ces expériences ont été contestées. Rutherford et Mme Curie ont été dans l'impossibilité de les vérifier. Mais Rutherford a réussi à provoquer la désintégration de corps à poids atomiques légers : azote, bore, fluor, sodium, aluminium, phosphore.

Il utilise le rayonnement *alpha* pour attaquer le noyau et, grâce au procédé de la scintillation, il observe que les corps bombardés expulsent avec violence des particules rapides constituées par des noyaux d'hydrogène ayant un trajet supérieur à celui des *alpha !*

Mais la désintégration a lieu sur une échelle minime et il ne semble guère possible de la mettre en évidence par les méthodes chimiques classiques. Si les particules *alpha* d'un gramme de radium bombardaient de l'aluminium durant une année entière, la quantité d'hydrogène mise en liberté ne serait pas supérieure à un millième de millimètre cube !...

La transmutation provoquée est, malgré tout, un fait démontré. Sa réalisation sur une plus grande échelle sera peut-être la découverte de demain !

N'avions-nous pas raison d'annoncer que le radium était un corps prodigieusement intéressant ? Il entretient la chaleur de notre terre; à ce titre, il mérite notre reconnaissance. Il permet, en outre, aux savants de pénétrer les secrets de la constitution intime de la matière. Grâce à lui, l'action individuelle des atomes est aujourd'hui visible ! Les atomes sont dénombrés, leur trajectoire est mesurée et photographiée ! Les atomes se transforment : des atomes lourds deviennent atomes plus légers !

Tous ces faits sont basés sur une expérimentation sévère et rigoureuse, et admis à l'unanimité ils éclairent d'un jour inattendu ce domaine hier inaccessible de l'atome,

L'étude du rayonnement *bêta* va nous faire connaître le seul véritable atome, indivisible celui-là : l'électron ou atome d'électricité.

2° **Les rayons bêta.** — Ils forment 3,2 % du rayonnement global. Ce sont comme les *alpha* des rayons corpusculaires, mais chargés, eux, d'électricité négative. Leur masse égale la deux-millième partie environ de l'atome hydrogène qui pèse seulement un milliardième de milligramme. Leur vitesse varie de 30 000 à près de 300 000 kilomètres par seconde (1). On les divise pour cette raison en différentes catégories.

Les *bêta* mous (les plus lents) sont absorbés par 9/10 de mm. d'aluminium, les *bêta* durs (les plus rapides) sont arrêtés seulement par 5 millimètres de ce métal. Ils sont donc notablement plus pénétrants que les *alpha* et, traversant aisément (au moins en partie) les récipients contenant du radium, ils sont susceptibles d'utilisation à l'inverse des *alpha* qui le sont seulement dans certains cas particuliers.

Les rayons *bêta*, émis spontanément par le radium, sont analogues aux rayons cathodiques qui naissent dans les ampoules de Crookes grâce à la mise en action de moyens électriques excessivement puissants ! Ces particules sont des particules constitutives de l'atome, une poussière d'atome en quelque sorte, et l'accouplement de ces mots résonne d'étrange façon ! Nous ne serons donc pas surpris de voir tout à l'heure que l'émission de bêta est, comme l'émission *alpha*, susceptible de transformer la matière génératrice, qui devient autre quand elle laisse échapper ses éléments constitutifs.

La trajectoire des *bêta* a pu être mise en évidence, grâce

(1) Ce chiffre est à retenir et à comparer avec celui de la vitesse des électrons dans les ampoules de Crookes, vitesse qui n'est que de 193 000 kilomètres par seconde pour la tension déjà élevée de 100 000 volts. Or les électrons constituent des rayons d'autant plus pénétrants que leur vitesse est plus grande.

au phénomène de l'ionisation en milieu sursaturé d'humidité, mais le nombre d'ions est plus petit, les gouttelettes sont moins serrées, la trajectoire n'est pas rectiligne et présente de nombreuses brisures.

Un Allemand, Regener, a réussi à dénombrer les *bêta* et les rayons cathodiques et ce fait est d'autant plus remarquable que l'électron est la plus petite particule connue.

La différence du pouvoir pénétrant caractérisant les *alpha* et les *bêta*, permet une curieuse expérience montrant que le radium est vraiment une source d'électricité.

Mettons un peu de radium dans une ampoule en verre, terminée à sa partie inférieure par deux feuilles d'or battu. Fixons ce dispositif avec un fil de quartz dans une ampoule plus grande où l'on fait un vide parfait de façon à rendre impossible toute ionisation. Les rayons *bêta* chargés d'électicité négative s'échappent avec facilité. Les particules *alpha* relativement volumineuses ne peuvent sortir de l'ampoule. Elles abandonnent leur charge à la masse où s accumule l'électricité positive. Cette charge fait diverger les feuilles d'or qui s écartent progressivement. Mais si les parois du récipient donnent passage à deux fils réunis à la terre, fils disposés de telle façon que les feuilles d'or les rencontrent quand elles ont atteint une certaine divergence, le contact provoque la décharge. Les feuilles retombent. Une nouvelle charge s'accumulant peu à peu, elles divergent à nouveau, rencontrent encore une fois les fils mis à la terre, retombent, etc... Mais ce mouvement imprimé aux feuilles d'or, c'est un *mouvement perpétuel!* Oui, c'est du moins la réalisation la plus approchée que l'on puisse faire de ce rêve poursuivi par certains esprits fantasques. La solution n'est point parfaite; cependant le battement de cette horloge se répétera avec une constante régularité, durant des années !...

3° **Les radiations** (1) **gamma.** — Elles forment 4,8 % du rayonnement total et sont caractérisées par la puissance de leur pouvoir pénétrant. Une épaisseur de plomb de 20 millimètres arrête seulement 60 % du rayonnement *gamma* que l'on peut mettre en évidence, même à travers 150 millimètres de plomb et 300 millimètres de fer.

Pour mieux comprendre les *gamma*, rappelons comment se forment dans les ampoules de Crookes les rayons X auxquels on les compare, tous deux étant d'ailleurs de nature vibratoire.

Les rayons cathodiques sont, comme les *bêta*, des électrons animés de vitesses variables. Dans l'ampoule de Crookes, ces électrons en s'amortissant contre la cathode engendrent un rayonnement de nature vibratoire dont la longueur d'onde dépend et de la vitesse des électrons et de la nature de l'anticathode. Une anticathode de composition donnée émet des radiations caractéristiques et tellement caractéristiques qu'une spectrographie nouvelle prend naissance (2), les rayons X permettant de déterminer la nature des corps.

On admet que les *gamma* sont le résultat du bombardement incessant des atomes radio-actifs par les *bêta* (3). Ils seraient en fait le rayonnement caractéristique de

(1) Radiation est le mot propre convenant aux gamma. Ce terme désigne, en effet, l'ébranlement communiqué à l'éther par une source lumineuse. Le mot « rayon », au contraire, désigne avec précision les alpha et les bêta formés par la trajectoire d'une particule matérielle émise par la source. Le terme « rayon » consacré par l'usage est souvent employé pour désigner des radiations. Cette appellation impropre désigne cependant la propagation rectiligne du mouvement vibratoire, et pour cette raison n'est pas absolument un non-sens.

(2) Dr Maurice D'halluin, *L'Énigme Roentgenienne.* JOURNAL DES SCIENCES MÉDICALES DE LILLE, 17 et 24 juillet 1921.

(3) Cette théorie n'est pas absolument certaine, mais elle est commode, elle légitime l'expression de Becière appelant le radium « l'édition de poche de l'ampoule de Crookes » et elle a l'avantage de montrer, en même temps que les analogies, les différences qui caractérisent les deux émissions.

l'atome radium bombardé par les électrons qu'il expulse. Et comme la longueur d'onde des radiations caractéristiques est fonction de la grandeur du poids atomique, on conçoit (surtout en se souvenant de la grande vitesse de translation des rayons *bêta*) que les radiations nouvelles aient un mouvement vibratoire extrêmenent rapide, une longueur d'onde toute petite. Cette longueur d'onde est si petite que la structure cristalline (1), parfaite pour obtenir des spectres de diffraction avec les rayons X, est trop grossière pour l'étude des *gamma* les plus pénétrants dont la longueur d'onde est d'environ 0 Angström 0071 (2). Pour obtenir artificiellement avec une ampoule des radiations aussi pénétrantes que celles que nous fournit spontanément le radium, il faudrait l'alimenter par un courant sous 3 000 000 de volts (3). Voilà l'explication du pouvoir pénétrant considérable des *gamma*. Ce grand pouvoir pénétrant est probablement la raison de l'efficacité thérapeutique particulière du radium comparé aux rayons X, car les cellules paraissent d'autant plus sensibles aux radiations que la longueur d'onde est plus courte.

Les *gamma* déchargent les électroscopes, mais le phénomène est complexe. L'étude de l'ionisation en milieu sursaturé de vapeur d'eau, montre que les *gamma* en bombardant les gaz en font sortir des corpuscules chargés négativement et leur trajectoire photographiée est analogue à celle des rayons *bêta*. Le pouvoir ionisant des *gamma* est donc indirect et dû à la formation d'un rayonnement secondaire, dont nous avons parlé tout à l'heure.

(1) Grâce à la structure cristalline des réseaux constitués par l'empilement d'atomes séparés les uns des autres par une distance de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde des rayons X, on a pu obtenir avec ces derniers de véritables spectres de diffraction et la nature ondulatoire des rayons X est aujourd'hui démontrée par l'expérimentation.

(2) L'unité Angström égale le dix-millionième de millimètre.

(3) Les appareils des rayons X modernes sont alimentés par du courant à 200 000 volts.

Voilà, rapidement exposée, l'étude raisonnée de ce que nous avons appelé les manifestations vitales du radium. Ces phénomènes de radio-activité dont la *spontanéité* est la propriété caractéristique sont une *propriété atomique* et accompagnent la *transformation des atomes* dont il est essentiel de montrer de plus près le mécanisme. Ainsi, le radium doit à son rayonnement ses propriétés fondamentales et son rayonnement est le fait de la désintégration des atomes.

III. — GÉNÉALOGIE ET DESCENDANCE DU RADIUM

En étudiant le rayonnement du radium, nous avons signalé son épuisement, sa mort par conséquent. Le moment est venu de parler de sa naissance, de ses ancêtres, de ses cousins germains, de sa lignée ; oui, de sa lignée, car en évoluant pour mourir, le radium donne naissance à une série de produits qui ont chacun leur individualité propre.

1° *L'ancêtre nécessaire.* — Des liens étroits unissent entre elles les différentes branches des sciences, et voilà que le mystère de la naissance du radium nous amène à parler de l'*âge de la terre.*

Les acquisitions faites dans l'étude de la radio-activité permettent, en effet, d'évaluer cet âge par un procédé des plus séduisants. L'uranium est, comme le radium, un corps en évolution, mais sa vie moyenne est d'environ 8 milliards d'années ! Lui aussi émet des *alpha* et ces *alpha* se transforment en hélium. Cet hélium reste enfermé dans les cristaux. En dosant la richesse des minerais en hélium on peut déterminer l'âge des roches, à condition de connaître la quantité d'hélium dégagée en un temps donné par un poids déterminé. Mille tonnes d'uranium fournissent par an 2 milligrammes d'hélium.

Ceci connu, on trouve les âges suivants pour les divers terrains :

8 millions d'années pour l'oligocène,
31 millions d'années pour l'éocène,
141 millions d'années pour le carbonifère,
145 millions d'années pour le dévonien,
710 millions d'années pour les archéens.

Ces chiffres concordent avec ceux obtenus par d'autres méthodes, chiffres généralement supérieurs à 50 millions d'années. Ainsi notre vieux monde est vieux, bien vieux !...

Mais si le monde est si vieux, *comment le radium existe-t-il encore*, lui qui, tous les 1 600 ans, se perd par moitié ? Une conclusion s'impose : du radium doit naître, pour remplacer le radium détruit, et le générateur semble être l'uranium. On trouve dans les minerais d'uranium une proportion fixe de radium dont un maximum (conforme aux prévisions) n'a jamais été dépassé (1). Ce fait est déjà une présomption. La période de transformation de l'uranium en radium est tellement longue que l'on n'a pas encore pu obtenir la preuve expérimentale de la transmutation. La filiation, d'ailleurs, n'est pas directe. Le père du radium semble être l'*Ionium* (2) et l'ionium ne descend pas lui-même immédiatement de l'uranium, qui serait seulement son trisaïeul. Entre l'uranium, le grand ancêtre, et l'ionium, le véritable père, se détacherait une branche latérale, celle donnant naissance à l'*Actinium*, autre corps radio-actif, découvert par Debierne.

2° *Les métamorphoses du radium.* — Le radium, tel qu'il se présente à nous, en vase clos, le radium produi-

(1) Les minerais anciens et inaltérés contiennent 320 milligrammes de radium par 1000 kg. d'uranium.

(2) L'ionium a une durée de vie moyenne d'environ 1 000 000 d'années. Il a été extrait par Boltwood de divers minerais d'uranium. La proportion qui se transforme est si faible que le radium produit est seulement décelé par des essais délicats effectués sur l'émanation (Soddy, *La chimie des éléments radioactifs*, p. 53).

sant le triple rayonnement que nous avons analysé, n'est pas un individu, mais une collection d'individus. C'est à la collectivité qu'appartiennent les propriétés décrites. Chaque élément de la famille a son individualité propre, il est engendré par le terme précédent et l'on doit à Rutherford et Soddy la théorie de la désintégration que nous allons maintenant exposer.

Le *radium* proprement dit, le chef de file, a pour poids atomique 226. Mais nous savons que toutes les 80 secondes, sur un milliard d'atomes considérés, l'un d'eux explose en lançant dans l'espace un projectile *alpha,* atome d'hélium dont le poids atomique est 4. Il doit donc rester un résidu pesant 226 — 4, soit 222 et ce résidu est un gaz appelé émanation (1).

L'*émanation* est sécrétée d'une façon continue par le radium, elle reste en grande partie incluse dans les cristaux, mais se dégage très facilement des solutions. On peut donc l'extraire et l'étudier.

Soit une solution de radium dans un flacon de verre fermé depuis un mois. Le liquide est au fond, les gaz s'accumulent dans la région supérieure. Entourons le récipient d'une pellicule photographique, et laissons-la un temps suffisant. La portion de la pellicule correspondant à la région occupée par la solution sera peu impressionnée. Celle en contact avec la zone gazeuse noircira notablement plus au développement.

(1) L'émanation a été découverte simultanément par Rutherford et par Ramsay et Grey.

Rutherford est actuellement professeur à l'Université de Manchester. Ramsay, né à Glasgow en 1852, est mort en 1916, à l'âge de 63 ans. Il occupa la chaire de chimie à l' « University College ». Il a découvert et isolé l'hélium et les autres gaz rares. Nous signalons dans cet article la part qu'il a prise dans l'étude de la radioactivité.

(2) L'émanation ressemble, au point de vue chimique, aux gaz rares du groupe de l'argon et n'entre dans aucune combinaison chimique.

La conclusion est évidente. Le radium dégage un gaz radio-actif qui se dissout faiblement dans le liquide et s'accumule dans la région sus-jacente.

Ce même gaz introduit dans une chambre d'ionisation décharge avec intensité l'électroscope. Il fait aussi briller les corps phosphorescents; on s'en rend aisément compte en faisant passer l'émanation dans un tube où se trouve une substance phosphorescente. Au lieu d'un tube, prenons un appareil constitué par deux boules superposées dont les parois sont recouvertes d'un enduit phosphorescent ; la luminosité est égale dans les deux boules, mais plongeons l'une d'elles dans l'air liquide. L'émanation se condense dans la boule immergée et l'on voit la luminosité disparaître dans la boule supérieure.

L'émanation est donc bien un produit nouveau engendré par le radium et, comme lui, radio-actif. Elle se solidifie à la température de l'air liquide (1). Elle brille d'un vif éclat, d'où le nom de *Niton* que lui donna Ramsay. Elle est caractérisée par son spectre et, si l'on enferme de l'émanation dans un tube spectroscopique, on voit, en quelques jours, disparaître son spectre caractéristique remplacé par celui de l'hélium.

Émettant des *particules alpha à raison de 2 par seconde sur un million d'atomes présents*, l'émanation ionise l'air avec intensité. Si on la recueille dans une chambre d'ionisation (2), on constate, en mesurant la vitesse de décharge de l'électroscope, que le pouvoir ionisant augmente durant les premières heures, atteint un état d'équilibre en 4 heures environ, puis diminue d'une façon progressive de façon à tomber de moitié en 3 jours 85.

L'émanation est sécrétée d'une façon continue par le radium, mais se détruit suivant le rythme indiqué. A un

(1) Elle se liquéfie à — 62° et se solidifie à — 71°.

(2) Cylindre métallique traversé suivant son axe par une tige métallique isolée dans un bouchon d'ambre et pouvant être mis en communication avec la tige centrale de l'électroscope.

moment donné, il se produit un équilibre entre les quantités qui se forment et celles qui se détruisent ; trente jours sont nécessaires pour ce résultat.

Un gramme de radium émet dès lors par heure : 7 microcuries 51 et une même quantité se détruit durant le même temps.

On appelle *curie* la quantité d'émanation en équilibre avec un gramme de radium, *millicurie* celle en équilibre avec un milligramme, *microcurie* celle correspondant au microgramme et *millimicrocurie* celle en équilibre avec le millionième de milligramme.

Le curie occupe à 0° et 760 mill, 0 millimètre cube 6 (1).

L'émanation, en se détruisant, laisse un *résidu radioactif*, le fait est facile à constater. Si, après avoir laissé 3 ou 4 heures de l'émanation dans une chambre d'ionisation, on fait le vide pour la retirer, va-t-on, en reportant la chambre sur l'électroscope, constater l'absence d'ionisation ? Non, et la chambre bien vide d'émanation décharge l'électroscope, mais des mesures successives

(1) Sir W. Ramsay a réussi à peser un volume connu d'émanation. C'est la méthode la plus simple pour déterminer la densité d'un gaz et par conséquent son poids moléculaire. Mais le volume disponible n'atteignait pas un dixième de millimètre cube et le poids était inférieur au millième de milligramme...

Il fallut d'abord construire un fléau extrêmement léger ; on y parvint en soudant de petites baguettes de quartz entretoisées entre elles. Le fléau mesurant 54 millimètres pesait 177 milligrammes. La position d'équilibre du fléau était observée au moyen d'un miroir formant une image lumineuse sur une échelle divisée.

Telle est la balance, mais quels poids employer ? Il faut utiliser des poids gazeux, et voilà certes une nouveauté ! L'une des extrémités du fléau porte une ampoule scellée de volume exactement connu. Toute la balance est enfermée dans une cage étanche où l'on fait un vide partiel mesuré au manomètre. Suivant la pression de l'air résiduel, la poussée exercée sur l'ampoule varie; sa valeur est parfaitement déterminée si on connaît le volume de l'ampoule (secondairement la quantité d'air déplacée) et la densité de l'air.

Tandis que les meilleures balances ne permettent que d'apprécier le 1/100e de milligramme, celle-ci donne avec sûreté le 3 millionième de milligramme.

montrent désormais une diminution rapide de la vitesse de décharge. La vitesse de chute diminue de moitié en 28 minutes, décroissance singulièrement plus rapide que celle de l'émanation. On conclut que l'émanation, en se détruisant, laisse un *dépôt solide radio-actif* qui recouvre les parois de la chambre et évolue avec son rythme caractéristique.

Le dépôt solide radio-actif, semblable à une neige invisible, tombe continuellement de l'émanation sur les corps environnants. Il y adhère et leur communique une *radio-activité d'emprunt* (1), et ces corps radio-activés sont comparables aux corps inertes imprégnés par les effluves de corps odorants. La splendeur du geai paré des plumes du paon est plus qu'éphémère !

Ce dépôt est chargé positivement. Si on introduit dans une enceinte contenant de l'émanation, une partie métallique réunie au pôle négatif d'une source de haute tension, le dépôt s'y concentre et la tige est ainsi fortement radio-activée. C'est le moyen de condenser sur une petite surface des quantités importantes de dépôt, c'est un moyen utilisable pour extraire d'une grande masse d'air, les éléments radio-actifs qu'elle peut contenir.

Ce dépôt est réel et, si on essuie vigoureusement avec un linge le corps radio-activé, on constate qu'il est devenu inactif. Il est facile de constater par une mesure à l'électroscope, que le dépôt est passé sur le linge.

Ce dépôt rayonne avec activité et fournit le triple rayonnement *alpha, bêta, gamma.* Mais il est constitué par trois éléments nouveaux : *le radium A*, *le radium B*, *le radium C*, qui ont chacun leur caractéristique.

Le *radium A* a pour poids atomique 218, car il dérive de l'émanation par la perte d'une particule *alpha.* On le recueille tout au début de la transformation de l'émanation

(1) Ce phénomène découvert par M. et Mme Curie est connu sous le nom de radioactivité induite.

dépôt solide radio-actif. Si, laissant l'émanation quelques minutes seulement dans la chambre d'ionisation, on détermine la radio-activité du cylindre après en avoir enlevé l'émanation, on constate que cette radio-activité diminue de moitié, non plus en 28 mais en 3 minutes. Il existe donc un corps à désintégration rapide appelé radium A. Il fournit lui-même de nombreux *alpha* et laisse un résidu dont le poids atomique est 214 : c'est le radium B.

Le *radium B* a une période de 27 minutes ; il engendre le radium C, mais la transformation se fait ici sans émission d'*alpha*, le radium B émettant seulement des électrons, d'ailleurs difficiles à mettre en évidence. Radium B et radium C sont deux atomes différents, bien qu'ayant tous deux même poids atomique.

Le *radium C* est de tous les produits de transformation du radium le plus intéressant. Lui seul émet le triple rayonnement attribué à l'ensemble du dépôt radio-actif. Il est d'ailleurs complexe : Le radium C' se transforme en 19 secondes 5, émettant seulement des *bêta* et des *gamma*. Il engendre le radium C'', qui meurt en une fraction de seconde et libère de nombreux *alpha*. Le terme dérivé aura donc un poids atomique diminué de 4 unités, soit 210 ; il s'appelle *radium D*, terme initial d'une nouvelle série de produits à décomposition lente, à opposer à ceux que nous venons d'étudier et qui sont à transformation rapide.

Le *radium D* perd, en 24 ans, la moitié de sa radio-activité, il émet seulement un rayonnement *bêta*.

Le *radium E* qui en dérive, aura donc le même poids atomique 210, qui sera aussi celui du radium F, car la transformation de E en F se fait par émission de *bêta*. Le radium E perd, en 5 jours, la moitié de sa radio-activité.

3° *L'ultime transformation.* — Le *radium F* a, lui, un intérêt historique, puisqu'il fut le premier découvert par Mme Curie, sous le nom de polonium. Sa vie étant relativement longue, soit 135 jours, il peut s'accumuler dans

les minerais. Il émet des rayons *alpha*, en se métamorphosant à son tour ; mais, avec lui, finit la brillante carrière du radium, car le produit engendré est un des plus vulgaires : le plomb ! Le plomb est le terme final de cette brillante lignée !

« *Comment, en un plomb vil, l'or pur s'est-il changé ?* »

Nous venons d'essayer de le faire comprendre. Voilà comment le radium, « chargé d'ans », et peut-être « pleurant son antique prouesse », se stabilise et entre, après une carrière mouvementée, dans l'éternel repos, subissant cette fois la loi commune. Son triste sort rappelle le vers d'Horace :

« *Desinit in piscem Mulier formosa superne* ».

Cette transformation du radium en plomb n'est pas une vue de l'esprit. On trouve du plomb, et en quantité considérable, dans tous les minerais d'uranium. Si on calcule l'âge des minéraux radioactifs d'après leur teneur en plomb, on obtient, en général, « un chiffre acceptable ». La preuve directe résulte d'une expérience de Curie et Debierne, qui, partant du polonium, voient la raie caractéristique de ce métal disparaître en même temps que l'activité du produit. La substance résiduelle, au contraire, donne une augmentation de l'intensité des raies du plomb. Tout le plomb trouvé dans la nature ne dérive pas fatalement du radium, et l'on distingue un plomb ordinaire dérivé de la galène (poids atomique 207.2) ; un plomb plus lourd (poids atomique 208), dérivé du thorium ; un plomb plus léger (poids atomique 206), dérivé du polonium (1).

Cette évolution du radium est tout à fait remarquable; complexe en apparence, elle est très simple quand on en conçoit bien le mécanisme.

Tous les atomes radioactifs sont instables : tantôt ils

(1) Le poids atomique du polonium = 210. La disparition d'un atome d'hélium laisse un résidu pesant 210 — 4, soit 206.

explosent en lançant dans l'espace une particule *alpha* et l'atome résidu est caractérisé par son poids atomique diminué de quatre unités par rapport à celui de son générateur. Tantôt ils abandonnent, sous forme d'électrons, une portion infinitésimale de leur substance ; dans ce cas l'atome résidu conserve le même poids atomique, mais diffère cependant de son générateur.

Ces transformations sont donc bien la cause du rayonnement des préparations contenant le radium. *Alpha* et *bêta* sont l'accident nécessaire. Nous pouvons admettre que les *gamma* sont engendrés par les *bêta*.

Telle est l'histoire du radium ! et l'on peut se demander ce qu'il faut le plus admirer, ou les merveilleuses propriétés de ce métal, ou la remarquable ténacité des savants dont le patient labeur nous permet la connaissance parfaite de phénomènes aussi remarquables. Le problème de la radio-activité n'est cependant pas intégralement résolu, bien que les résultats acquis soient d'une importance capitale. Il reste encore un champ immense à explorer, et partout on travaille sans relâche.

Les considérations théoriques que nous venons d'exposer rendent compte des particularités caractérisant les préparations contenant soit le radium en nature, soit l'émanation, soit le dépôt radio-actif.

Les préparations à base de radium émettent, au début, seulement des *alpha ;* mais si elles sont enfermées dans une enceinte close, l'émanation qui s'accumule, soit dans les cristaux, soit dans l'enceinte, y abandonne le dépôt solide radio-actif et la préparation commence à fournir le triple rayonnement au moment où le radium C a pu se former. Elle s'enrichit peu à peu en radium C ; en quatre jours elle atteint la moitié de son pouvoir radio-actif. Au bout d'un mois seulement, l'état d'équilibre est parfait entre les éléments générateurs et ceux qui se détruisent et, dès lors, le rayonnement devient constant et proportionnel à la quantité de radium métallique sécrétant, d'une façon continue et régulière, une quantité

fixe d'émanation qui régénère le dépôt radio-actif au fur et à mesure de sa destruction.

Les préparations contenant de l'émanation rayonnent aussi bien que celles contenant le radium en nature, toutes choses égales d'ailleurs, quant à la quantité d'émanation contenue dans l'une ou l'autre préparation. Dans les appareils clos (1), l'état d'équilibre s'établit rapidement (en quatre heures environ). Dès lors la quantité de *radium C* qui se détruit est régénérée par les quantités nouvelles d'émanation qui se transforment. Mais l'émanation séparée de la source s'épuise peu à peu et fournit des quantités de radium C proportionnelles à son poids, le pouvoir rayonnant est progressivement décroissant, diminuant de moitié tous les quatre jours. Des tables permettent de suivre d'heure en heure la diminution d'activité d'une quantité donnée d'émanation.

Les préparations contenant le seul dépôt radio-actif émettent avec activité le triple rayonnement, mais la vie des radiums A, B, C étant courte, la préparation s'affaiblit rapidement, les atomes détruits n'étant pas remplacés, si l'émanation n'est pas présente.

4° *Les autres corps radio-actifs.* — La radio-activité n'est pas l'apanage exclusif du radium. Debierne a découvert l'actinium, engendré, pense-t-on, par un élément dérivé de l'uranium et précédant probablement l'ionium.

L'*actinium* est entraîné avec les métaux du groupe du fer et des terres rares lors du traitement chimique des minerais uranifères, où on le trouve toujours.

Il est le chef de file d'une série de produits comparables aux dérivés du radium. On trouve : une *émanation* dont

(1) N'oublions pas que l'émanation étant un gaz, il faut la retenir dans des appareils hermétiques ; sans cette précaution les appareils contenant même du radium à l'état solide n'auraient pas un rayonnement fixe, mais un rayonnement variable suivant l'importance de la fuite.

explosent en lançant dans l'espace une particule *alpha* et l'atome résidu est caractérisé par son poids atomique diminué de quatre unités par rapport à celui de son générateur. Tantôt ils abandonnent, sous forme d'électrons, une portion infinitésimale de leur substance ; dans ce cas l'atome résidu conserve le même poids atomique, mais diffère cependant de son générateur.

Ces transformations sont donc bien la cause du rayonnement des préparations contenant le radium. *Alpha* et *bêta* sont l'accident nécessaire. Nous pouvons admettre que les *gamma* sont engendrés par les *bêta*.

Telle est l'histoire du radium ! et l'on peut se demander ce qu'il faut le plus admirer, ou les merveilleuses propriétés de ce métal, ou la remarquable ténacité des savants dont le patient labeur nous permet la connaissance parfaite de phénomènes aussi remarquables. Le problème de la radio-activité n'est cependant pas intégralement résolu, bien que les résultats acquis soient d'une importance capitale. Il reste encore un champ immense à explorer, et partout on travaille sans relâche.

Les considérations théoriques que nous venons d'exposer rendent compte des particularités caractérisant les préparations contenant soit le radium en nature, soit l'émanation, soit le dépôt radio-actif.

Les préparations à base de radium émettent, au début, seulement des *alpha ;* mais si elles sont enfermées dans une enceinte close, l'émanation qui s'accumule, soit dans les cristaux, soit dans l'enceinte, y abandonne le dépôt solide radio-actif et la préparation commence à fournir le triple rayonnement au moment où le radium C a pu se former. Elle s'enrichit peu à peu en radium C ; en quatre jours elle atteint la moitié de son pouvoir radio-actif. Au bout d'un mois seulement, l'état d'équilibre est parfait entre les éléments générateurs et ceux qui se détruisent et, dès lors, le rayonnement devient constant et proportionnel à la quantité de radium métallique sécrétant, d'une façon continue et régulière, une quantité

fixe d'émanation qui régénère le dépôt radio-actif au fur et à mesure de sa destruction.

Les préparations contenant de l'émanation rayonnent aussi bien que celles contenant le radium en nature, toutes choses égales d'ailleurs, quant à la quantité d'émanation contenue dans l'une ou l'autre préparation. Dans les appareils clos (1), l'état d'équilibre s'établit rapidement (en quatre heures environ). Dès lors la quantité de *radium C* qui se détruit est régénérée par les quantités nouvelles d'émanation qui se transforment. Mais l'émanation séparée de la source s'épuise peu à peu et fournit des quantités de radium C proportionnelles à son poids, le pouvoir rayonnant est progressivement décroissant, diminuant de moitié tous les quatre jours. Des tables permettent de suivre d'heure en heure la diminution d'activité d'une quantité donnée d'émanation.

Les préparations contenant le seul dépôt radio-actif émettent avec activité le triple rayonnement, mais la vie des radiums A, B, C étant courte, la préparation s'affaiblit rapidement, les atomes détruits n'étant pas remplacés, si l'émanation n'est pas présente.

4° *Les autres corps radio-actifs.* — La radio-activité n'est pas l'apanage exclusif du radium. Debierne a découvert l'actinium, engendré, pense-t-on, par un élément dérivé de l'uranium et précédant probablement l'ionium.

L'*actinium* est entraîné avec les métaux du groupe du fer et des terres rares lors du traitement chimique des minerais uranifères, où on le trouve toujours.

Il est le chef de file d'une série de produits comparables aux dérivés du radium. On trouve : une *émanation* dont

(1) N'oublions pas que l'émanation étant un gaz, il faut la retenir dans des appareils hermétiques ; sans cette précaution les appareils contenant même du radium à l'état solide n'auraient pas un rayonnement fixe, mais un rayonnement variable suivant l'importance de la fuite.

la vie moyenne est de 5,6 secondes et la période de demi-transformation de 3,9 secondes. L'émanation engendre un dépôt radio-actif dont la période de décroissance est de 36 minutes. Le rayonnement comprend des α, des β des γ, et la préparation dégage de l'hélium.

La radio-activité de l'actinium est considérable.

Le *thorium* est comparable à l'uranium et donne naissance à une lignée radio-active indépendante mais semblable d'allure à celle du radium.

Les procédés industriels employés pour l'extraction du thorium sont multiples, et l'on entraîne dans le sulfate de baryte les éléments radio-actifs.

On extrait du thorium deux substances inactives ou presque inactives : le *mesothorium I* et le *mesothorium II* ; la vie moyenne du premier est de 7,9 ans, sa période de demi-transformation de 5,5 ans. Le mesothorium II se détruit complètement en 2 ou 3 jours, engendrant le *radiothorium* (vie moyenne 1063 jours ; période de demi-transformation 737 jours), père du *thorium* X (vie moyenne 5,35 jours, période de demi-transformation 3,7 jours). Le thorium X donne naissance à une *émanation* à vie courte (vie moyenne 76 secondes, période de demi-transformation 53 secondes). Cette émanation engendre un dépôt radio-actif complexe émettant un triple rayonnement. Son activité diminue de moitié en 11 heures.

Le rayonnement des préparations de mesothorium est en tout point comparable à celui du radium, le pouvoir pénétrant de son rayonnement *alpha* étant même légèrement supérieur. Mais tandis que le radium placé en vase clos atteint au bout de 30 jours son état d'équilibre conservant durant des centaines d'années son rayonnement constant si l'appareil n'a pas de fuite, le mesothorium, lui, acquiert seulement au bout de 4, 6 ans son maximum d'activité ; par la suite la préparation s'affaiblit progressivement et perd au bout de 5,5 ans la moitié

de son activité (1). Cette activité ne devient jamais nulle, car les préparations de mesothorium contiennent toujours du radium, la séparation chimique étant impossible. Le mesothorium, beaucoup plus radio-actif (2) que le radium, se trouve dans les préparations en quantité infinitésimale par rapport au radium et c'est là un obstacle insurmontable à l'étude du spectre et du poids atomique du mesothorium.

Si le mesothorium se vendait au poids à un prix nettement inférieur à celui du radium, son utilisation aurait un grand intérêt pratique, son activité étant environ 3 fois plus forte que celle du radium.

Malheureusement, quand on parle d'un milligramme de mesothorium, on ne considère pas en fait un milligramme de ce corps, mais une quantité x du produit correspondant au rayonnement γ d'un milligramme de radium !... L'acheteur ne bénéficie pas, par conséquent, de la puissance rayonnante plus grande du mesothorium, mais il paie à peu près au prix du radium un produit qui aura dans 10 ans environ un pouvoir radio-actif très réduit.

Il faut ajouter aux corps précédents et à leurs dérivés le *potassium* et le *rubidium*. Toutefois leur radioactivité est faible et, tandis qu'en utilisant l'oxyde d'uranium on obtient une impression photographique en cinq heures, il faut une pose de 190 jours avec un sel de potassium !

On a signalé la radio-activité du béryl, du lanthane, du cæsium, de l'erbium, du néodyme, de l'antimoine, du niobium, du tantale. Mais ces corps contiennent probablement, les uns des traces de radium, les autres des traces de thorium ou de potassium.

On a constaté aussi la radio-activité du plomb, radioactivité d'emprunt, toutefois, due à la présence du ra-

(1) Soddy, *La Chimie des éléments radioactifs.*

(2) Le mesothorium se désintègre beaucoup plus rapidement que le radium. A égalité de temps et de poids, le mesothorium émet donc un rayonnement beaucoup plus considérable que le radium.

dium D ou *radioplomb* dans le plomb du commerce. La vie du radioplomb étant d'environ 24 ans, il n'est point étonnant que le vieux plomb ne soit jamais radio-actif.

On peut se demander si la radio-activité n'est pas un phénomène général de la matière, la lenteur de la transformation étant la cause de la faiblesse du phénomène. Il existe encore de multiples inconnues !

Mme Curie signale dans son traité l'existence d'une «émanation » dont la période est de six jours. Cette émanation recueillie dans les eaux de Guillano en Toscane, *diffère de toutes celles étudiées ; elle semble révéler l'existence d'une famille nouvelle dont on ne connaît aucun terme.*

5° *Dissémination des corps radio-actifs.* — Les minerais d'uranium et de thorium sont très répandus et déjà nous avons parlé de la radio-activité de la terre. L'émanation dégagée par les minerais se dissout dans les eaux du sol et des océans, elle se répand aussi plus ou moins dans l'atmosphère, elle est alors entraînée par la pluie, la neige, la grêle. La radio-activité est donc un phénomène banal (1), bien que plus ou moins facile à mettre en évidence dans le cas où elle est minime. Cette radio-activité est temporaire quand elle est due à la présence de l'émanation, cas habituel; cependant certaines eaux ou certains sédiments peuvent contenir du radium en nature.

Les eaux de la Bourboule (source Choisy) sont avec celles de Bagnères-de-Luchon (sources Bourden), et celles de Plombières (Capucins), les plus actives de France. Les eaux de Dax, de Bussang, des Eaux Bonnes, de Néris, d'Uriage, de Spa le sont à des degrés variés.

(1) On a publié des travaux sur la soi-disant radio-activité d'êtres vivants, plantes, ou animaux. Les résultats positifs sont considérés comme des erreurs d'expérience. Il ne semble pas que le potassium existe dans les tissus à dose suffisante pour que sa radio-activité soit décelable par les moyens physiques. On peut toutefois admettre que certaines plantes ou certains animaux acquièrent de la radio-activité en puisant dans le sol ou dans l'air des matériaux radio-actifs. Mais c'est là un phénomène exceptionnel.

L'émanation n'est pas toujours en dissolution dans l'eau et on la retrouve plus ou moins abondamment avec l'hélium dans les gaz de nombreuses sources. L'extraction de ces deux produits devient l'origine d'une industrie nouvelle susceptible de prendre une certaine extension. Il existe une source italienne capable de donner journellement 30 millicuries d'émanation par jour, et pouvant charger un appareil rayonnant autant qu'un tube contenant 30 milligrammes de radium. C'est là un rayonnement d'une certaine intensité.

IV. — LE RADIUM EN BIOLOGIE ET EN THÉRAPEUTIQUE

Becquerel, ayant conservé dans la poche de son gilet un tube de radium, observa après quelques jours sur sa peau une rougeur douloureuse, suivie bientôt d'ulcération.

Le radium à forte dose exerce donc une action destructive sur les cellules et nous verrons tout à l'heure que l'inégale sensibilité des cellules saines et malades permet de détruire les unes en respectant les autres.

Certaines substances ont la propriété d'être, suivant la dose, excitantes ou sidérantes. Les anesthésiques provoquent une agitation souvent violente avant d'amener la résolution musculaire. Le radium ne fait pas exception à cette loi d'ordre presque général. De très faibles doses excitent la végétation des plantes et l'on obtient des résultats appréciables en utilisant comme engrais les résidus radio-actifs des usines. Le prix en est très abordable, un rendement meilleur de l'exploitation compense bien au delà la dépense. La radium-culture progresse mais avec une sage lenteur, le paysan n'est pas toujours ami du progrès, les résultats obtenus sont cependant bien prometteurs.

On a prétendu que l'irradiation des œufs durant l'incu-

bation hâtait l'éclosion de 4 à 6 jours. Les poussins naissent plus vigoureux, se développent plus vite, pondent plus tôt. De tels résultats méritent confirmation !

Zwaardemaker, d'Utrecht, soutient une théorie fort curieuse considérant que la propriété rythmique du muscle cardiaque est due au moins en partie à l'excitation produite par la faible radio-activité du potassium du sang. On peut entretenir le cœur en activité hors de l'organisme en faisant circuler dans ses cavités ou ses artères un sang artificiel complexe. Les battements s'arrêtent si on supprime les sels de potassium, ils reprennent si on remplace ces sels par de l'uranium, du thorium, du radium, du polonium ! On a objecté que l'addition d'alcool avait le même résultat. Soit, mais comment expliquer la reprise des battements d'un cœur arrêté par privation de sel de potassium, sous l'influence du simple rayonnement d'une substance radioactive ?

La grande presse cherche à créer en France un courant d'opinion en faveur du radium, et c'est fort heureux. « Les applications thérapeutiques du radium, sont négligées en France », écrit-on, et ailleurs on trouve ce titre suggestif : «Le radium: les Français l'inventèrent, les Américains l'appliquent ». Et les journaux nous ont apporté la nouvelle que le conseil municipal de Paris allait enfin doter les hôpitaux de la capitale d'une toute petite quantité de ce métal, car un gramme, deux grammes de radium, c'est bien peu pour un centre comme Paris !

Ne croyez point cependant que les médecins français se soient désintéressés de l'application thérapeutique du radium. De nombreux spécialistes se sont mis au travail dès *la découverte du radium* et leurs travaux comptent parmi les meilleurs. Leurs statistiques ne comportent pas toujours les chiffres imposants d'outre-mer, mais le pourcentage des succès est aussi remarquable. Chez nous l'esprit de routine entrave l'essor des plus belles découvertes. On n'est pas roi dans son pays ! Au lieu

d'encourager les chercheurs, au lieu de venir à eux avec confiance, on s'est défié et il faut que l'écho des guérisons dues à l'usage du radium nous revienne d'Angleterre et d'Amérique pour émouvoir l'opinion publique jusqu'aujourd'hui trop indifférente !

L'Institut Pasteur de Paris est le seul centre officiel créé depuis peu de temps et possédant à peine 1 gr. de radium. Il existe, par contre, deux instituts privés dont l'un de fondation toute récente. Cependant un certain nombre de spécialistes possèdent chacun de leur côté à Lyon, à Bordeaux, à Lille, des quantités importantes de radium qu'ils utilisent depuis plusieurs années. Mais ce sont des instituts privés et l'assistance publique n'a pas encore trouvé le moyen de faire bénéficier la classe pauvre de ce remarquable agent thérapeutique.

On éprouve honte et confusion quand on compare le développement de la curiethérapie en France et à l'étranger. Lisez plutôt.

Londres et Manchester sont en Angleterre les deux centres principaux où la curiethérapie a pris une remarquable extension. On compte à Londres six grands instituts complétés par des laboratoires merveilleusement organisés. Ils possèdent chacun plusieurs grammes de bromure de radium et peuvent hospitaliser et traiter un grand nombre de malades.

A Manchester, il existe un seul institut mais remarquablement outillé et possédant deux grammes de radium.

Ce qui frappe le plus en Angleterre, c'est l'intérêt que portent à l'utilisation du radium toutes les classes de la nation anglaise. A Manchester, la presse locale a fait appel à la population. Bien que celle-ci soit composée en grande partie d'ouvriers, on a recueilli la somme coquette de 30 000 livres par apports de 1 à 3 shellings. A Londres, en l'année 1917, on a fait au Radium Institute seul 6232 traitements dont 4163 gratuitement. On a distribué 1700 *litres d'eau radio-activée.* A Manchester, la même année, on faisait 2993 applications !

Ces chiffres sont éloquents mais incomplets, car il faudrait avoir la statistique de chaque institut pour se rendre exactement compte du grand nombre de malades venant demander au radium la guérison de leurs maux.

Aux États-Unis on trouve comme en Angleterre des Instituts possédant des quantités impressionnantes de radium.

A Boston, Duane voit chaque année 500 nouveaux cas de cancer. A Rochester, les frères Mayo ont créé une véritable cité chirurgicale, dont les journaux nous ont révélé à diverses reprises la merveilleuse organisation. On y possédait en février 1920 : 1 gr. de radium et chaque mois on en achète une nouvelle quantité, tandis que l'on construit un hôpital spécial pour les malades recourant à cette thérapeutique. A Chicago on compte 3 ou 4 instituts, mais un seul possède une quantité de radium importante. A Baltimore, le fameux chirurgien Kelly a acquis 5 gr. de ce produit ; de plus en plus il abandonne le bistouri en faveur du radium. A New-York, le Memorial Hospital possède 4 gr. de radium. C'est à Pittsburg que l'on prépare la totalité du radium américain. On a groupé autour de l'usine, laboratoires et cliniques. « Un service de propagande répand de par le monde les résultats obtenus », auxquels, ajoute Cesbron, médecin français envoyé en mission aux États-Unis et en Angleterre, « il serait indécent d'ajouter ici l'ombre d'une publicité ».

Cette réflexion peint bien l'âme française. Toute réclame charlatanesque est assurément blâmable. Mais n'est-il pas nécessaire parfois de répandre autour de soi les résultats d'une méthode nouvelle ? Tout en procédant avec discrétion, n'est-il point légitime de parler quand on possède le moyen de calmer la souffrance et de prolonger la vie ?

L'ignorance entrave les progrès de la science, car elle éloigne un trop grand nombre de malades qui en seraient les premiers bénéficiaires, et contribueraient par leur guérison à prouver la merveilleuse efficacité d'une

thérapeutique qu'avec une inconcevable légèreté certains esprits qualifient parfois en disant : c'est du charlatanisme.

Le radium est incontestablement un produit surprenant, soit au point de vue physique, soit au point de vue chimique, soit au point de vue biologique ! Pour des esprits bornés ses effets, en apparence mystérieux, doivent *tenir de la sorcellerie !*

L'étude du radium est cependant une science remarquable et les déductions qu'elle permet doivent remplir d'admiration tout esprit judicieux. Quant à l'application thérapeutique du radium, elle n'est point faite au hasard mais réglée par des lois précises. Nous exposerons brièvement les principes fondamentaux de la curiethérapie (1).

Il y a lieu de distinguer deux modes d'emploi du radium. Tantôt on introduit dans l'organisme de petites doses de substances radioactives qui sont emportées par le torrent circulatoire. Tantôt on utilise le rayonnement fourni par les appareils contenant des substances actives, et placés *loco dolenti.*

1° *L'usage interne du radium* est encore à l'étude. Il

(1) Le terme « curiethérapie » rend hommage à un nom que la science vénère, et permet d'écarter du même coup les confusions faites trop souvent entre les termes radiothérapie (usage thérapeutique des rayons X) et radiumthérapie (utilisation médicale du radium). Il serait d'ailleurs logique d'appeler radiothérapie cette branche de la thérapeutique où l'on utilise les radiations visibles et invisibles. Ainsi définie, la radiothérapie comprendrait:

La thermothérapie négative ou *eryothérapie :* traitement par soustraction de radiations calorifiques.

La thermothérapie positive : thérapeutique par la chaleur.

La photothérapie négative ; caractérisée par la suppression des radiations lumineuses.

La photothérapie positive : emploi des radiations visibles des sources de lumière atrificielle.

L'héliothérapie : utilisation de la lumière solaire.

La linsenthérapie : traitement par les ultra-violets.

La röntgenthérapie : thérapeutique par les rayons X.

La curiethérapie : thérapeutique par les substances radioactives, sources de rayonnement invisible complexe.

semble cependant déterminer une amélioration de l'état général, stimuler la nutrition, augmenter le nombre des globules rouges. Son action sur la solubilisation de l'acide urique est tout à fait remarquable et les goutteux sont heureux de savoir que la curiethérapie interne est, dans cette affection, une thérapeutique particulièrement efficace.

Le radium se prend en boissons, en piqûres, en inhalations. Les piqûres entraînent une perte de substance regrettable, vu le prix du radium (1). La cure de boisson ou d'inhalation évite ce gaspillage, car on utilise l'émanation. Dans le premier cas, on la dissout dans la boisson, qui acquiert ainsi une radio-activité temporaire. Dans le second cas, le malade respire dans une salle contenant de l'émanation. Elle se dissout dans son sang, au niveau de ses capillaires pulmonaires, et se répand ensuite dans tout l'organisme.

La curiethérapie interne fut pratiquée bien avant la découverte du radium, sous forme d'ingestion d'eaux minérales.

Le radium étant répandu partout, il est fatal que les sources naturelles entraînent des produits radio-actifs solubles. L'émanation communique une radio-activité temporaire. Il faut peut-être voir dans ce fait une des raisons de l'activité plus grande de bien des eaux quand on les consomme au Griffon.

Peut-on mettre en doute l'action du radium pris à l'intérieur ? Non, et voici un fait suggestif : Dans les hautes vallées, on rencontre un nombre considérable de goitreux et de crétins, et l'on attribue à l'eau la production de ces troubles. Cette eau, cependant, est impunément consommée dans les vallées inférieures. La connaissance de la radio-activité induite explique facilement l'action nocive

(1) On peut le remplacer, il est vrai, par le mesothorium ou le thorium X.

et l'action anodine d'une même eau. Tout produit susceptible de dissoudre l'émanation perd en quelques jours la moitié de sa radio-activité, quand il est renfermé en vase clos, où s'accumulent les produits de désintégration. Mais quand l'émanation se dissipe dans l'espace, abandonnant seulement le dépôt solide résultant de sa transformation, celui-ci perd en 28 minutes la moitié de sa radio-activité !... Les indigènes des hautes vallées sont près de la source et consomment une eau active qui, dans sa course ultérieure, perd sa nocivité. Nous disons nocivité ; eh oui ! le radium est dangereux et, comme tout agent efficace, doit être employé à dose suffisante, mais avec prudence et circonspection. Sa nocivité, loin de nous effrayer, doit nous réjouir, car elle est une preuve de son efficacité.

2° *L'usage externe du rayonnement.* — Cette nocivité bienfaisante, nous la retrouvons encore dans l'usage externe du rayonnement du radium.

Nous avons rapporté déjà l'incident dont Becquerel fut la victime. C'est à Danlos, un des maîtres de l'hôpital Saint-Louis, que nous devons en 1902 les premiers essais d'utilisation thérapeutique.

Le rayonnement α est peu employé. La faiblesse de son pouvoir pénétrant le rend difficilement utilisable. Il faut introduire l'émanation dans une capsule fermée par une membrane particulièrement mince. L'action des α est purement superficielle ; ils provoquent une irritation qui peut avoir son intérêt dans certaines affections dermatologiques, mais le champ d'action paraît bien limité, et on utilise surtout les rayonnements β et γ.

Quelles sont les indications de la curiethérapie externe ? Toute tumeur : simple tache de vin, excroissance cutanée, ou cancer viscéral, est susceptible de régresser sous l'influence du rayonnement fourni par le radium. En même temps que cette action cellulaire dont nous allons légitimer l'importance, le radium exerce une action anal-

gésique sur les nerfs sensibles, action qui peut être systématiquement recherchée pour combattre la douleur dans le cas où il n'y a pas de tumeur.

A l'action destructive des doses fortes, il faut opposer l'action stimulante des doses faibles. Base fondamentale de la radium-culture, elle explique les résultats favorables obtenus dans certaines plaies atones, tels les ulcères variqueux, qui n'ont point tendance à la cicatrisation. On a préconisé l'injection de sels insolubles de radium au voisinage des foyers de fracture pour hâter leur consolidation. C'est ici encore l'action stimulante des faibles doses que l'on recherche.

Mais revenons à l'action cellulicide. Des doses massives de rayonnement provoquent une destruction profonde des tissus irradiés. Les agents destructeurs ne nous manquent pas et si le radium a sur les caustiques une supériorité incontestable, il la doit moins à la profondeur de son action qu'à cette singulière particularité de détruire les cellules malades avec des doses de rayonnement incapables de léser les cellules saines ! C'est pourquoi il est possible de faire fondre une tumeur sous-cutanée sans obtenir la moindre réaction de la peau. Toutefois, pour arriver à ce résultat, il faut recourir à des artifices et se débarrasser du rayonnement *bêta* (1) qui agit sur les cellules saines à dose voisine de celle nécessaire pour influencer les cellules pathologiques. On y arrive aisément en épurant le rayonnement et en absorbant les *bêta* et même les *gamma* les moins pénétrants par des épaisseurs de métal dense. On obtient ainsi un rayonnement tuant les cellules pathologiques bien avant que les cellules saines soient intéressées.

L'inégale radiosensibilité cellulaire est le principe fon-

(1) Le rayonnement bêta est cependant intéressant. Dans certaines affections dermatologiques, il peut déterminer une action superficielle bienfaisante qui en impose souvent l'usage, mais dans le cas de tumeur profonde il faut le supprimer.

damental de la curiethérapie. *Toute cellule jeune, toute cellule en voie de prolifération active, est particulièrement sensible aux radiations invisibles.* Toute tumeur est un tissu en voie de prolifération intense ; ses éléments sont donc plus radiosensibles que ceux des tissus adultes et nettement différenciés. Voilà pourquoi on peut l'atteindre en respectant les tissus sains.

La théorie de Bordier a, au moins, le mérite de donner une explication rationnelle des faits. Les radiations invisibles déterminent dans la cellule des phénomènes de dissociation moléculaire et d'ionisation qui aboutissent à la précipitation des colloïdes albuminoïdiques.

Si le précipité est faible, la réparation se produit, l'irradiation a un effet excitant. Si le précipité est fort, la cellule vit sur sa réserve albuminoïdique restante, mais bientôt dégénère et meurt. Ceci explique parfaitement la période de latence, car les tissus irradiés commencent seulement à réagir après une douzaine de jours.

Comme les colloïdes jeunes sont les plus instables, on conçoit très bien la radiosensibilité élective des cellules jeunes pathologiques et néoformées.

L'action du radium est comparable à celle des rayons X ; les deux méthodes ont chacune leurs avantages. Le radium doit à son pouvoir pénétrant énorme une partie de sa supériorité.

Les appareils contenant le radium peuvent grâce à leur petitesse être introduits aisément en contact ou au sein des tumeurs à faire disparaître, et c'est là un précieux avantage. Mais les rayons X permettent d'irradier plus aisément de larges surfaces ; les deux méthodes ne doivent pas être opposées mais associées le plus souvent possible.

Les tumeurs se divisent en *bénignes* et *malignes*.

Parmi les premières, signalons les adénomes et les fibromes. Parmi les secondes, les sarcomes et les cancers.

Les tumeurs bénignes cèdent, en général, facilement au radium, épargnant heureusement à la patiente les risques

d'une opération qui, même réputée bénigne, est un risque suffisant pour que l'on soit surpris de voir parfois l'hésitation des intéressées.

Le traitement des tumeurs malignes par le radium est la question à l'ordre du jour. En présence d'un cancer la formule était hier : Intervention précoce, large et immédiate. Mais le beau résultat immédiat de l'acte chirurgical est trop souvent assombri par la production de récidives précoces, évoluant parfois avec rapidité.

Les médecins constatent avec tristesse ce piteux résultat, les chirurgiens eux-mêmes se découragent et sont sur le point de renoncer à cette chirurgie décevante. L'ouverture des lymphatiques favorise l'ensemencement de la plaie opératoire et certains échecs lui sont attribuables.

On a conseillé l'irradiation de la tumeur avant l'acte chirurgical. Cette technique est rationnelle : en frappant de mort les cellules on les rend inaptes à se reproduire par greffe.

Mais il arrive fréquemment que les résultats obtenus par l'irradiation préventive sont tels que l'opération devient inutile, dans les cas où la tumeur est prise au début. Même quand il s'agit de ces laissés-pour-compte de la chirurgie, où toute tentative semble vouée à l'échec, la curiethérapie donne, par ses résultats consolants, par ses succès quelquefois, une preuve indéniable de sa puissance.

On peut regretter toutefois l'absence de traitement général du cancer, car cette maladie redoutable a tendance à essaimer dans l'organisme. La curiethérapie est, comme l'acte chirurgical, une thérapeutique locale. La précocité de l'intervention est une grande chance de succès. Quand on voit les malades au moment où l'organisme est envahi, la survie due à la guérison locale peut être entravée par l'évolution de lésions éloignées du siège de la tumeur primitive.

Ce rapide exposé vous permet de comprendre la raison d'être de la curiethérapie, sans que nous ayons ici à entrer dans les détails de technique ou de faits cliniques.

Malgré ses résultats impressionnants, la méthode inspire cependant de la crainte, légitimée par la connaissance d'accidents atteignant ceux qui manipulent le radium. Rien de plus néfaste qu'une demi-science : on n'approfondit pas, et l'on juge, et ce sont toujours les incompétents qui sont les plus hardis dans leurs affirmations.

Faut-il redouter le bistouri du chirurgien qui, capable de sauver la vie, peut, à l'occasion, donner la mort ? Faut-il redouter le poison qui, habilement gradué, calme la douleur, aide la nature dans sa lutte contre la maladie ? Il y a et il y aura toujours des victimes de la science. Ne cherchons pas toujours le mauvais côté des choses, réjouissons-nous de l'activité du radium, sans la redouter. Il faut accorder confiance à ceux qui consacrent leur vie à son étude. Actuellement, la curiethérapie a son heure de succès, demain elle aura des adversaires. Sous prétexte de favoriser l'essor de la curiethérapie, on tend à mettre entre les mains de tous cette précieuse, mais rare substance. Certains commerçants à courte vue vont, ainsi, préparer de nombreux mécomptes (1) dont les patients seront les victimes. Il ne faudra pas incriminer le radium cependant, mais l'incompétence de ceux non préparés à son maniement. Il ne suffit pas d'avoir du radium, il faut savoir s'en servir. Il ne suffit pas d'être médecin ; une longue pratique est nécessaire avant d'être à même d'appliquer le radium efficacement et sans danger. Car les réactions sont lointaines, se produisant durant plusieurs mois, et parfois après plusieurs années. Il faut les prévoir et cependant ne pas agir avec timidité.

(1) Dr Maurice D'halluin, *Le Radium doit-il être mis entre toutes les mains ?* Paris, Paris Médical, 11 juin 1921.

CONCLUSIONS

Nous avons déclaré en débutant, la découverte du radium, une des plus fécondes de notre siècle ; l'exposé que l'on vient de lire légitime, nous l'espérons, cette interprétation.

Il est intéressant de se remémorer les circonstances qui ont amené la découverte du radium. Tout en rendant hommage au génie de M. et de Mme Curie, il faut reconnaître l'importance des travaux de leurs devanciers ; la découverte était dans l'air ; elle devait se faire à ce moment précis ; M. et Mme Curie, observateurs perspicaces, surent tirer de leurs travaux les conclusions qui les menèrent au succès.

Nous avons brièvement parlé de l'industrie du radium; ce sujet mériterait de plus longs détails amenant à cette conclusion que la pauvreté des minerais et leur rareté rendent bien difficile le développement de cette industrie. Nous avons cependant besoin de radium, et il faut faire les efforts voulus pour trouver la matière nécessaire à l'isolement du précieux produit.

Nos colonies sont riches en minerais uranifères; il en existe à Madagascar, il en existe en Indo-Chine, mais le prix du fret rend onéreux le transport des matériaux à traiter dans la métropole. Il faudrait réaliser sur place les opérations fondamentales, de façon à pouvoir transporter en France le produit concentré dans une solution, d'où il suffirait d'extraire le radium par cristallisations répétées. A défaut de minerai, on peut être amené à utiliser les boues qui se déposent dans certaines stations thermales ou peut-être même les résidus d'évaporation de ces eaux. Les boues de Vichy contiennent 7 dixièmes de mmg. par tonne, le résidu de l'évaporation des eaux de la même station contient 1 dixième de mmg. de radium par tonne. A défaut de minerai, on pourra utiliser

l'émanation des sources, cette opération permettant de recueillir en même temps l'hélium, dont la préparation industrielle favoriserait incontestablement le développement de l'aéronautique.

Nous avons vu que le dégagement d'énergie était une propriété de l'atome de radium. Ce dégagement acquiert une importance considérable du fait de sa prolongation. Malheureusement, nous n'arrivons point à modifier ni en plus ni en moins cette transformation d'énergie. Le jour où nous trouverons le moyen d'utiliser à notre gré l'énergie intra-atomique, ce sera une transformation complète de notre manière de vivre, et il n'est pas chimérique de penser en cette hypothèse au retour possible de l'âge d'or.

L'étude de la radio-activité a permis de mieux connaître l'atome dont jusqu'à ce jour on ignorait la constitution. Aujourd'hui, nous comptons les atomes et les fragments d'atomes, nous pouvons en voir les trajectoires. N'est-ce pas là un résultat merveilleux, et susceptible de frapper l'imagination ?

Les préparations radio-actives sont en fait des produits toujours complexes ; qu'ils s'appellent radium, qu'ils s'appellent mesothorium, qu'ils s'appellent actinium, le corps considéré n'est point seul, mais il porte avec lui tous ses enfants, et les manifestations que nous avons étudiées, sont les manifestations de l'activité *vitale de la collectivité.*

Les enfants ont une activité éphémère s'ils sont séparés de leur générateur, ils peuvent en mourant rayonner à l'égal de la colonie, mais ils s'épuisent plus ou moins rapidement. Si au contraire le produit est renfermé en vase clos, le générateur reproduit ses enfants au fur et à mesure de leur destruction, et la préparation conserve une radio-activité constante, à partir du jour où elle est arrivée à l'état d'équilibre.

Si, quittant les considérations théoriques, nous nous

plaçons maintenant au point de vue de l'utilisation pratique, le problème de la radio-activité mérite encore toute notre attention. Les applications biologiques et thérapeutiques sont les plus importantes.

Les engrais radio-actifs stimulent la croissance des plantes.

La radio-activité du potassium est peut-être une des causes des battements rythmiques de nos cœurs. Dans certaines affections, le radium est une arme des plus actives mise entre les mains du praticien. C'est un remarquable appoint apporté au médecin dans la lutte contre le cancer, ce mal qui répand la terreur.

M. et Mme Curie ont ouvert aux savants des horizons insoupçonnés et donné à l'humanité souffrante un médicament nouveau. Pionniers de la science, ils sont aussi les bienfaiteurs de l'humanité ; de là le retentissement mondial de leurs travaux, auxquels, Français, nous sommes heureux et fiers de pouvoir applaudir.

Dr Maurice D'halluin,
Professeur à la Faculté libre de Méd. de Lille.

———————

UN

Bilan de la Protistologie [1]

Pour dresser un bilan, il faut connaître les éléments à évaluer : il ne sera sans doute pas superflu de définir ce qu'est la Protistologie ou plutôt ce que sont les Protistes dont cette science s'occupe.

Pour saisir la portée d'un bilan, il est utile de connaître la situation antérieure à celle de l'exercice envisagé : il sera utile d'exposer quelles étaient il y a vingt ans les prétentions de la protistologie.

Puis il importe de tracer un tableau, très résumé, de la situation : en l'occurrence, quelles sont les connaissances acquises et les énigmes qui subsistent.

Enfin l'on conclut.

Les protistes sont un groupe d'êtres vivants qui englobe tous les organismes dont la masse n'est pas cloisonnée en cellules. Presque tous les êtres vivants, soit animaux soit végétaux, généralement connus sont cloisonnés en cellules, c'est-à-dire que leur corps est divisé en une infinité de petites loges dont chacune contient un peu de protoplasme et un noyau. Les cellules d'un même

(1) Conférence faite à Bruxelles, le 27 avril 1922, à l'assemblée générale de la Société scientifique.

organisme sont extrêmement variées de forme et de structure et à chaque variété échoit l'exercice d'une fonction propre : par exemple, dans un animal quelque peu différencié, il y a des cellules nerveuses, des musculaires, des squelettiques, des sécrétrices, des tégumentaires, des reproductrices, et bien d'autres ; les cellules de même valeur anatomique et fonctionnelle s'associent en tissus et forment des muscles, des ganglions nerveux avec leurs nerfs, des glandes, des téguments, etc. Bref, beaucoup d'êtres vivants sont cellulaires, et, suivant qu'il s'agit de végétaux ou d'animaux, ils sont dits métaphytes ou métazoaires. Mais il existe aussi des êtres vivants qui ne sont pas cloisonnés en cellules, qui ne possèdent donc pas de tissus différenciés : leur corps, de dimensions presque toujours microscopiques, parfois à la limite de visibilité des plus puissants instruments, est formé d'une petite masse de protoplasme contenant un noyau, parfois plusieurs, ou tout au moins de la substance nucléaire diffuse ; on les appelle des protistes.

Quelques exemples serviront à illustrer cette définition trop abstraite.

Les *Amibes* sont des protistes fréquents dans l'eau ou les milieux humides, libres ou parasites. Leurs dimensions se chiffrent en centièmes, même en millièmes de millimètre ; leur corps, petite masse de protoplasme et noyau, est de forme très variable parce que soumis à de continuelles et actives déformations ; celles-ci comportent la production de prolongements tentaculaires, les pseudopodes, qui, par leur développement, leur fixation et leur rétraction, assurent les déplacements de l'animalcule. Les Amibes s'alimentent en englobant par une portion quelconque de leur protoplasme des particules alimentaires, en les digérant, en rejetant par un point quelconque de la surface du corps les déchets de la digestion.

Les *Euglènes* pullulent dans les eaux putrides et, à la bonne saison, elles apparaissent en plaques vertes formées

par l'accumulation de millions d'individus, sur le fond boueux des flaques d'eau ou à la surface spumeuse des purins. Leur corps protoplasmique uninucléé est tout infiltré de pigment vert, la chlorophylle ; il est de forme régulière et porte un long flagelle dont les battements continus assurent la locomotion du petit organisme. L'Euglène s'alimente en assimilant des produits organiques dissous, et elle est de plus capable de fixer l'acide carbonique, grâce au concours de la chlorophylle dont elle est chargée.

Les *Paramécies* abondent dans les eaux chargées de détritus organiques ; ce sont de grands protistes, qui mesurent deux ou trois dixièmes de millimètre. Leur corps en amande est formé d'une masse de protoplasme et d'un appareil nucléaire complexe à deux masses chromatiques distinctes. Toute la surface du corps est marquée de nombreuses crêtes régulières longitudinales chargées de milliers de petits cils courts et l'organisme se meut avec agilité grâce aux mouvements qui se propagent en onde dans ce revêtement cilié. Les Paramécies présentent une vaste dépression de la surface du corps, s'enfonçant dans la profondeur du protoplasme en un entonnoir à paroi ciliée ; c'est un pseudo-pharynx qui sert à l'alimentation. Des particules alimentaires charriées au fond du pseudo-pharynx s'y accumulent puis sont ingérées dans le protoplasme par une espèce de déglutition, parcourent dans le corps un trajet compliqué mais constant au cours duquel elles sont digérées ; leurs résidus sont enfin expulsés en un point constant de la surface du corps.

Les *Plasmodium* sont des protistes parasites. Ils se rencontrent dans les globules rouges du sang de l'homme, chez lequel ils provoquent la fièvre paludéenne. Extrêmement petits, — les stades les plus ténus mesurent environ deux millièmes de millimètre —, ils sont formés eux aussi d'une petite masse de protoplasme et d'un noyau, ou, à certains stades, de plusieurs et jusqu'à vingt noyaux

dans un protoplasme unique non cloisonné. Ces parasites qui végètent dans le sang humain évoluent sexuellement dans le corps d'un moustique : absorbés lors de la succion du sang, ils se modifient dans l'estomac du moustique où ont lieu des processus de fécondation, puis ils se multiplient énormément dans la cavité générale du corps suivant un mode compliqué et se logent dans les glandes salivaires de l'hôte d'où ils seront expulsés et réinjectés à un homme lors d'une nouvelle piqûre. Le Plasmodium présente l'exemple d'une évolution extrêmement fréquente chez les protistes, l'évolution par cycle ; il serait trop long d'insister sur ses détails.

Faut-il citer comme dernier exemple les *Bactéries* que certains auteurs prétendent ranger parmi les protistes ? Leur dimension tend vers des limites inaccessibles, on en connaît d'un millième de millimètre, on en devine de plus petites et l'on en soupçonne d'invisibles. Elles sont formées d'un peu de protoplasme et, si pas d'un noyau, au moins de substance nucléaire éparpillée.

Des protistes furent observés dès l'invention des microscopes les plus rudimentaires, c'est-à-dire depuis deux ou trois siècles ; cependant ils n'éveillèrent vraiment la curiosité des chercheurs que lorsque les perfectionnements croissants des appareils optiques permirent d'analyser un peu mieux leur structure. On en découvrit alors des milliers d'espèces et, en 1866, Haeckel a groupé cette multitude éparse et l'a baptisée en forgeant le nom de *Protistes*. Nom très mal construit d'ailleurs, à consonance baroque qui n'est d'aucun dialecte, à étymologie obscure et n'évoquant qu'une seule idée, celle de premier ou de primitif, et cette seule idée est elle-même fort discutable.

Mais l'influence d'un nom, quel qu'il soit, est considérable : l'indifférence distraite qui plane sur des isolés devient attention et parfois hantise quand une étiquette commune et facile les groupe. Tel fut le cas pour les pro-

tistes, le nom a fait fortune et la protistologie a recruté et passionné des milliers d'adeptes.

Les morphologistes, qui étudient la structure des organismes, ont regardé les infiniment petits, un peu rapidement parfois, car ces matériaux neufs que le microscope leur permettait d'analyser livraient à leur activité un champ trop vaste à défricher : ils y ont aperçu, à côté de processus aberrants et souvent déroutants, des phénomènes apparemment d'une simplicité parfaite. Tantôt ce sont des noyaux ne comportant qu'un simple granule chromatique et se divisant par un élémentaire étranglement ; tantôt c'est un noyau qui s'éparpille en centaines de petits grains (chromidies) qui régénèrent chacun un noyau ; tantôt ce sont des réductions chromatiques qui consistent en la simple expulsion d'un petit granule de substance nucléaire.

Forts de l'affirmation des morphologistes qui voyaient parmi les protistes des organismes simples, les phylogénistes, qui recherchent la filiation des espèces, tout imprégnés des premières conceptions évolutionnistes, n'ont pas hésité à faire des protistes les êtres vivants primitifs, les ancêtres de tous les autres vivants ; c'est d'eux que dériveraient d'une part les métaphytes, d'autre part les métazoaires. Comme les protistes sont des ancêtres déjà relativement différenciés puisqu'ils possèdent du protoplasme et un noyau, Haeckel crée — le mot « crée » n'est pas injustifié — les monères, qui seraient les plus primitifs des primitifs protistes, car ils ne présentent pas encore la différenciation en protoplasme et noyau.

Les biologistes, qui scrutent les phénomènes de la vie, ravis qu'on leur livre des organismes simples et primitifs, y ont trouvé matière aux plus exubérantes généralisations. A leurs yeux les protistes sont des « unicellulaires » ; ils représentent en quelque sorte l'un des rouages de cette merveilleuse machine que sont les « pluricellulaires », et doivent révéler les mécanismes élémentaires et primitifs

des activités vitales ; c'est chez eux qu'il faut rechercher l'explication de ce qu'est le mouvement et la digestion et la reproduction chez les êtres vivants.

Les systématistes, qui cherchent une classification méthodique, interviennent à leur tour : dans le groupe des protistes ils englobent en une fausse unité tous les êtres vivants qui n'apparaissent nettement ni métazoaires ni métaphytes ; ils y rangent les Schyzophytes (bactéries et algues bleues) et les Saccharomycètes ou levures qui seraient parmi les plus « primitifs » ; ils y rangent les Diatomées ; ils y rangent les Cnidosporidies et les Volvocides qui seraient parmi les plus évolués. Dans cet imposant ensemble les systématistes ont barboté à l'aise et ils ont, de tous ces matériaux, construit des classifications harmonieuses dont la logique est malheureusement suspecte, ne fût-ce que par la diversité des systèmes proposés. Ils ont aussi, puisque des protistes dérivent les métazoaires et les métaphytes, cherché à diviser le groupe en deux compartiments, celui des protozoaires animaux et celui des protophytes végétaux ; le cloisonnement hélas ! paraît bien arbitraire, ne fût-ce qu'en raison de l'impossibilité où se trouvent botanistes d'une part et zoologistes de l'autre de délimiter leur domaine et de ne pas empiéter sur celui que revendique le voisin !

Pour toute une génération de naturalistes les protistes furent donc un groupe énorme et homogène d'êtres « unicellulaires » à opposer aux multicellulaires ; parmi eux se retrouvaient des modalités cytologiques élémentaires et des processus biologiques simples ; ils représentaient les êtres vivants primitifs, les plus anciens, et comblaient l'abîme qui sépare de la matière inerte les multicellulaires les moins différenciés. Durant les premières années de ce siècle, bien peu de naturalistes eussent osé contredire ces principes de la protistologie. Aujourd'hui, bien peu sans doute oseraient encore souscrire à l'un ou à l'autre, et cependant les esprits les plus autorisés — nous ne parlons

pas des vulgarisateurs — sont encore marqués de l'empreinte de ces fausses généralisations abandonnées, parfois à regret, mais non pas oubliées. Doflein (1) dans la première phrase de son traité déclare que « le groupe des Protozoaires se range entre les organismes les plus inférieurs que nous connaissons, les Bactéries et leurs alliés, d'une part, et les animaux multicellulaires d'autre part ». Calkins (2) écrit que « dans ces simples masses de mucilage animé nous trouvons sous leur forme la plus simple les opérations diverses de l'organisme vivant » et Pavillard (3), qui cependant conçoit fort judicieusement certains aspects du problème, dit : « partant du principe que le problème des origines est un problème cellulaire, la protistologie prétend contribuer directement à la résolution de ce problème en demandant le secret de la vie et de l'évolution cellulaire aux organismes élémentaires, considérés à la clarté de la théorie évolutionniste, non seulement comme les plus simples, mais des primitifs ».

Malgré les traces qui en subsistent, les principes simplistes de la protistologie paraissent actuellement abandonnés. Que s'est-il donc passé ? Une chose bien simple et presque constante dans l'histoire des sciences : des observations incomplètes et imparfaites avaient donné lieu à des schématisations hâtives d'où dérivèrent des hypothèses considérées bien vite comme des dogmes ; mais les chercheurs continuèrent leurs investigations lentes et laborieuses, ils perfectionnèrent leurs méthodes et serrèrent de plus près la réalité ; ils ont contredit de nombreux faits allégués, ils ont découvert la complexité de ceux que l'on avait vus trop simples, ils ont défait les généralisations imprudentes, et, le sapant par la base, ils

(1) Doflein, *Lehrbuch der Protozoenkunde*. Jena, 1916.
(2) Calkins, *Protozoologie*. New-York, 1909.
(3) Pavillard, *État actuel de la Protistologie végétale*. Progressus rei Botanicae. T. III. 1910.

ont fait s'effondrer l'édifice des conceptions naïves de leurs devanciers.

Aux morphologistes qui avaient fourni des matériaux friables, revient l'honneur d'en avoir reconnu la fragilité et de les avoir remplacés. Au début de cette causerie nous avons signalé quelques genres typiques en les décrivant autant — ou plutôt aussi peu — qu'il était utile, pour faire comprendre qu'ils aient servi de fondement aux généralisations théoriques. Reparlons-en pour montrer combien l'étude plus précise qu'on en a faite, et elle est encore bien incomplète, a modifié leur signification.

Les Amibes d'abord. On a observé chez elles des noyaux apparemment fort simples et des divisions nucléaires où l'on croyait ne voir qu'un étirement suivi de bipartition : en réalité il y a chez les amibes des mitoses fort complexes, mais ce qui est plus troublant, c'est qu'il y a une variété énorme de types mitotiques suivant les formes étudiées (1). Des observations d'un autre ordre ont montré que ce que l'on considérait il y a peu d'années comme une espèce fixe d'amibe n'est dans bien des cas qu'un stade dans l'évolution d'une espèce à aspects variés successifs ; pour n'en signaler qu'un exemple, il semble bien (2) que la grande *Amoeba proteus*, à nombreux pseudopodes épais et obtus, évolue en donnant de toutes petites amibes globuleuses à large pseudopode lobé (forme A. guttula) qui donnent des amibes à nombreux pseudopodes rayonnants grêles (forme A. radiosa), qui à leur tour donnent des amibes à pseudopodes aigus (forme Dactylosphaerium), qui enfin restituent la forme proteus primitive. En d'autres cas la forme Amibe n'est qu'un stade de l'évolution d'espèces très diverses, Myxomycètes, Foraminifères, etc. ; en d'autres cas encore des amibes se transforment sous

(1) Dobell, A. P. K. (1914) et *The Amoeba living in man*. London, 1919.

(2) Hausman, Biological Bull., 38 (1920).

les yeux de l'observateur et deviennent des organismes flagellés (Valhkampfia), de sorte que ces espèces suivant le stade envisagé présentent les caractères considérés comme essentiels pour différencier deux des grands embranchements des protistes.

L'ancienne unité du genre Amibe n'est dès lors plus soutenable et bien rares sont les espèces nettement définies : il est même permis de dire qu'aucune espèce n'est connue dans la totalité des stades de son évolution. C'est ainsi que le problème de la reproduction sexuée des amibes n'est définitivement résolu pour aucune espèce; les processus de fécondation sont décrits de façons si diverses et si disparates que, ou bien il faut admettre l'existence de plusieurs types de sexualité, ou bien il faut, avec un scepticisme prudent, hésiter à en adopter définitivement un seul.

L'Euglène est et reste spécifiquement mieux définie que l'Amibe. Mais la connaissance que l'on en avait se développe et les incertitudes persistent. Les divisions nucléaires y sont plus compliquées et en même temps moins aberrantes (1) que l'on n'avait cru ; quant au cycle de l'espèce et en particulier aux phénomènes de fécondation supposés devoir exister, ils restent énigmatiques.

Les Ciliates ont livré aux morphologistes matière à préciser bien des descriptions, mais c'est peut-être pour eux que les révisions, les bouleversements des notions acquises furent le moins profonds : il en résulte que les problèmes posés par la complexité de leur appareil nucléaire et par leur processus sexuel particulier restent ouverts et que, actuellement, on les étudie comme un groupe à part, non pas sans connexions mais à connexions indéfinissables avec les autres organismes. On s'abstient des comparaisons hâtives et c'est là chose sage.

(1) Tschenzoff, Archiv für Protistenkunde, 36. 1916; Dehorn, Arch. zool. exp. et générale, 1920.

Nous avons cité plus haut un quatrième exemple de protistes : le Plasmodium ; en ce qui concerne ce genre, les investigations progressives des morphologistes se sont arrêtées. C'est qu'un obstacle insurmontable — malheureusement fort fréquent dans le domaine de la protistologie — résulte de l'extrême petitesse de l'objet ; impossible d'analyser ses détails cytologiques. La déformation propre aux morphologistes, dont le rôle est de décréter : «cela, je le vois, donc cela est», les conduit trop facilement à décréter aussi : «je ne vois rien, donc il n'y a rien ». Dire que les processus cytologiques indiscernables dans les Plasmodium y sont rudimentaires, serait bien imprudent ; nous pouvons même affirmer que ce serait erroné car, bien que n'y voyant rien, nous pouvons soupçonner ce qui s'y passe, et cela en observant des espèces voisines, moins petites et partant moins impénétrables. L'étude des Hæmoproteus et des Hæmogregarina, qui ont avec les Plasmodium des affinités indiscutables, révèle chez ces espèces une organisation cytologique compliquée : il n'est pas imprudent de supposer qu'une organisation comparable, quoique modifiée, existe invisible chez les Plasmodium. On peut même, sans crainte de se tromper, affirmer que ces derniers, trop petits pour être convenablement analysés, dérivent d'ancêtres plus volumineux. Sous ce rapport ce sont des dégradés ou des régressés, et cela n'implique pas la signification de dégénérés ou de fin de race, car nul ne pourrait imaginer ce que leur descendance éventuelle réserve d'espèces peut-être plus petites et plus énigmatiques encore. Mais c'est là de la phylogénie, nous y reviendrons plus loin.

Cet aperçu, beaucoup trop succinct, de ce que l'on connaît touchant quatre types, montre d'une part comment, malgré les difficultés de l'investigation, les infiniment petits nous livrent peu à peu leurs secrets, et d'autre part combien les données acquises sur eux sont incomplètes, laissant persister de nombreuses obscurités qui voilent les aspects les plus essentiels à leur compréhension.

Cet aperçu donnerait une fausse idée du labeur immense fourni par les chercheurs, si nous ne répétions avec insistance qu'il n'évoque que peu d'exemples parmi les milliers d'espèces connues et les centaines d'espèces analysées et étudiées : il donnerait surtout une fausse idée de l'ensemble des protistes, si nous n'ajoutions expressément que ces milliers d'espèces révèlent une indicible variété de formes et parfois une extrême complication de structure.

De la variété de formes il est impossible de donner une idée sans faire des protistes une étude développée ; de la complication de structure on pourrait tout au moins se rendre compte en considérant quelques exemples. Il existe, classés dans le même embranchement que les Amibes (les Rhizopodes), de nombreuses espèces de Radiolaires qui pour maintenir la masse visqueuse de leur protoplasme sont pourvues d'un appareil de soutien, d'une espèce de squelette en silice, remarquable par sa régularité, sa constance et sa finesse ; on n'exagérerait rien en comparant son architecture délicate à celle des plus hardies charpentes. L'appareil de soutien est plus facilement analysable, mais sa complication ne le cède probablement en rien, chez le Radiolaire, à celle des systèmes locomoteurs et assimilateurs, à celle des processus nucléaires, et l'organisme apparaît comme un microcosme déconcertant.

Citons encore, classés dans le même embranchement que les Euglènes (les Flagellates), des espèces de Polymastigina et d'Hypermastigina (1) où non seulement l'appareil locomoteur se complique jusqu'à être composé de centaines de flagelles, avec un appareil basal corrélativement aussi complexe, mais où encore certaines espèces forment ce que l'on pourrait appeler des colonies unitaires, sans cloisonnement, dans lesquelles on retrouve,

(1) Kofoid et Swezy, University California publications. *Zoology*. 20. 1919, et autres.

cinquante ou cent fois répétés, les systèmes qui constituent les individus uninucléés.

Bref, des données fournies par l'observation des protistes il faut retenir que le monde des infiniment petits est infiniment varié ; que plus on précise les observations, plus on se heurte à des énigmes et plus les interprétations simplistes apparaissent insuffisantes et croulent ; qu'enfin certains organismes montrent une structure extrêmement compliquée, alors que d'autres cachent sans doute leur complication sous une simplicité purement apparente.

Mais les découvertes des morphologistes, qui montrent que là où on avait cru à la simplicité se placent des processus extrêmement complexes, font réfléchir les phylogénistes. Si les protistes ne sont pas des organismes simples, y a-t-il lieu de les considérer comme primitifs ? Et voilà qu'ils s'aperçoivent que pour résoudre le problème il suffit de préciser ou de ramener à sa juste valeur l'idée de phylogénie, déformée parce que trop vulgarisée.

Dire que les protistes sont les ancêtres des métazoaires ou des métaphytes, est une proposition qui paraît exacte en un sens, mais qui, d'après la façon de l'entendre, — et on l'entend généralement fort mal — peut être absolument fausse. Changeons les termes pour nous faire mieux comprendre. On dit généralement que les reptiles sont les ancêtres des mammifères ; celui qui interpréterait cette phrase en croyant que les mammifères ont eu parmi leurs ascendants un serpent, un crocodile, ou une tortue, se ferait évidemment de l'évolution une idée aussi fausse que naïve ; mais si l'on comprend que parmi les ascendants des mammifères il y eut un animal ou des animaux qui n'avaient encore aucun des caractères propres aux mammifères et qui, sans en avoir les spécialisations, était du type reptilien, on a grandes chances de ne pas se tromper. Ces animaux ont évolué : l'un d'eux a donné, ou plusieurs ont donné, d'une part les souches

des reptiles, — et ont produit après quelques milliers de siècles les serpents, les tortues, les crocodiles actuels, — d'autre part les souches des mammifères. Des milliers, peut-être des centaines de milliers d'espèces, ont jalonné cette longue route d'évolution et les multiples fausses routes aboutissant à des impasses ; à chaque pas il en est apparu de nouvelles et il en a disparu. De cette multitude d'espèces bien peu survivent de nos jours, ce sont les plus jeunes et quelques anciennes, mais parmi celles-ci surtout les plus stables, les plus fixées, les moins capables d'évoluer ; il semble que les plus plastiques aient donné de nombreuses formes nouvelles, mais qu'elles n'aient pas survécu sous leur type primitif. Les paléontologistes exhument les restes fossilisés, les témoins d'un très grand nombre de ces espèces disparues, mais les matériaux extrêmement abondants ne constituent qu'une minime partie de ce qui serait nécessaire à la reconstitution d'un arbre généalogique complet : ils sont suffisants toutefois pour étayer l'exactitude du schéma général d'évolution.

Mais retournons aux protistes. Pour eux les témoins paléontologiques des lignées anciennes sont fort peu divers, car un petit nombre seulement de ces organismes fragiles supportent la fossilisation. On sait cependant qu'ils évoluent, que des espèces disparaissent et que d'autres se forment ; il y a eu autrefois des radiolaires et des foraminifères qui ont persisté comme fossiles et qui ne vivent plus de nos jours ; il y a actuellement des espèces qui sont bien jeunes et personne ne niera que les amibes ou les plasmodium parasites de l'homme ne soient plus jeunes que l'homme lui-même, elles datent d'hier ! Puisque les protistes ont évolué, il est licite d'admettre que les lois qui ont présidé à leur évolution sont analogues à celles qui ont régi l'évolution de tous les autres groupements, mieux accessibles à notre compréhension.

Dès lors il serait faux et enfantin de considérer les protistes actuels, les amibes, les euglènes ou les ciliates,

comme les ancêtres des pluricellulaires. Ce qui paraît vrai, c'est qu'il y eut de premiers organismes vivants — rien ne nous dit qu'il y ait eu un seul premier — ; ils n'étaient pas composés de cellules, ils étaient du type protiste et ont évolué ; l'un d'eux, ou plusieurs, ont donné la souche, ou les souches, des métazoaires ; plusieurs sans doute ont donné les souches des métaphytes ; beaucoup, tout en restant du type non cellulaire, ont cependant évolué et donné les formes protistes que nous connaissons, leur évolution a suivi des voies qui, tout en n'étant pas celles de la pluricellularité, n'en sont parfois ni moins longues, ni moins tortueuses, elles apparaissent surtout plus multiples.

Les protistes primitifs n'ont pas survécu, ils ont abouti aux formes actuelles; parmi elles, il en est qui, comparées aux primitives, énigmatiques, sont aussi vieillies et évoluées que le sont, comparés à ces mêmes primitifs, un plan de vigne ou un singe ; ces divers aboutissants d'évolutions divergentes dérivent de non-cellulaires primitifs, mais ils n'ont entre eux aucune parenté par lignée directe, ce sont des parents par lignée collatérale, des cousins au N^{me} degré, N étant inestimable. On pourrait dire, en adaptant une idée de Dobell (1) et de Franz (2), qu'il est aussi absurde de considérer l'amibe comme l'ancêtre du singe, que de considérér la vigne comme l'ancêtre du singe, que de considérer le singe comme l'ancêtre de l'amibe ou de la vigne !

Faut-il, après ce que nous venons de dire, résumer la conception actuelle du rang phylogénique des protistes ? Faisons-le, en quelques mots, pour bien la préciser, car elle devrait diriger toutes les tendances de la protistologie. Il y eut dans la nuit des temps des êtres vivants composés de protoplasme et de substance nucléaire (les

(1) Dobell, Arch. für Protistenkunde, 23. 1911.
(2) Franz, Biolog. Centralblatt, 31. 1911.

données scientifiques ne nous conduisent pas à imaginer des vivants moins différenciés); nous ne les connaissons pas eux-mêmes, car ils ont disparu et n'ont laissé ni empreinte ni vestige de leur passage, nous ne les connaissons que par leur descendance. Ils ont évolué et ont donné, sans doute, des milliers de formes très diverses ; cela se passait, si l'on veut, à l'ère des protistes ! Puis, parmi ces milliers de formes, quelques-unes ont évolué en pluricellulaires animaux, quelques-unes en pluricellulaires végétaux ; la plupart ont continué à évoluer suivant la tendance non cellulaire, leurs voies diverses divergeaient complètement de celles des pluricellulaires, ils sont restés protistes, mais protistes aussi distants et aussi vieux par rapport à la souche que le sont les pluricellulaires eux-mêmes.

Dès lors que les protistes ne sont ni simples ni primitifs, l'attitude des biologistes à leur égard a changé. Eux qui cherchent l'explication des grandes énigmes des êtres vivants : quelles sont les lois du mouvement, du métabolisme, des phénomènes cytologiques, quelles sont celles de la reproduction, de l'adaptation, de l'hérédité ? eux, les biologistes, se rendent enfin compte que si les protistes ne sont qu'apparemment simples dans leur organisation, ils ne sont aussi qu'apparemment simples dans leurs fonctions ; les phénomènes biologiques, chez eux, sont compliqués et complexes comme chez les pluricellulaires, mais ils sont d'une complication différente. Un animal, par exemple, présente des activités diverses, dont chacune est réalisée par le jeu d'une ou de plusieurs cellules spécialement adaptées à un rôle précis ; les cellules sont des ouvrières professionnellement déformées par l'extrême division du travail. Les protistes présentent les mêmes activités, mais les multiples facteurs en sont condensés dans l'espace restreint d'un petit corps protoplasmique nucléé; ils fournissent en petit le même travail

que les pluricellulaires, mais le procédé en est difficile à saisir, car on ne peut en dissocier les divers temps et les diverses opérations.

Dans ces conditions, les biologistes se sont découragés de rechercher chez les infiniment petits la solution des problèmes qu'ils poursuivent. Ils s'aperçoivent que pour analyser le mécanisme du métabolisme par exemple, il est plus aisé d'observer un homme chez lequel tous les éléments du phénomène sont dissociables, chez lequel il y a une bouche, un estomac, un intestin, un foie, un pancréas, un système circulatoire, un rein, un poumon, et beaucoup d'autres choses qui jouent chacune un rôle bien précis dans cette formidable opération, que d'observer une amibe qui, saisissant une proie, l'englobant dans son protoplasme, en rejetant les résidus, accomplit une opération du même genre, mais condensée de telle sorte que l'observateur ne peut en dissocier les facteurs. Les biologistes se rendent compte que, quand ils observent une amibe sous leur microscope, ils sont par rapport à elle comme serait un habitant de Mars, par rapport au terrien qu'il verrait gros comme un pois au bout de son télescope ! Ils comprennent qu'il est aussi malaisé pour eux de comprendre le métabolisme d'une amibe qu'il serait malaisé au martien de comprendre celui de l'homme.

Est-ce à dire qu'il faille renoncer à comprendre la biologie des protistes ? Point du tout, rien n'est impossible aux chercheurs, à condition qu'ils sérient leurs efforts : il importe de bien connaître l'organisation d'un être avant d'en comprendre le fonctionnement, et l'on sait combien la connaissance de l'organisation des protistes est encore fragmentaire ; c'est ce qui explique que les recherches biologiques et physiologiques soient si peu nombreuses et, étant données d'autre part les difficultés techniques de l'expérimentation sur ces êtres microscopiques, il est probable qu'elles resteront longtemps encore peu fécondes.

Si les biologistes paraissent abandonner de plus en

plus la tendance à rechercher chez les protistes des solutions par formule simple aux problèmes qu'ils creusent, ils restent par ailleurs trop souvent soumis à une autre tendance dangereuse, sous certains aspects inverse de la première. Les biologistes sont enclins à rechercher chez les protistes la vérification des lois établies pour les pluricellulaires, et cela est fort bien ; mais souvent ils sont tellement nourris et imprégnés de ces lois qu'ils veulent en trouver la vérification à tout prix, et ceci est désastreux,car ces vérifications par à peu près compliquent tout le problème. Il est établi que chez les pluricellulaires les phénomènes de fécondation sont associés à des cinèses réductionnelles ; qu'on en cherche l'homologue chez les protistes, parfait, mais à condition que l'on ne prétende pas voir dans la moindre expulsion de granule chromatique une épuration nucléaire, ce qui ne signifie pas grand'chose, ou une réduction chromatique, ce qui le plus souvent ne signifie pas davantage. Il est établi que tous les pluricellulaires et que beaucoup de protistes, se multiplient sexuellement; rien de plus légitime que de rechercher le phénomène dans tous les groupes de protistes, mais rien de plus dangereux que de croire — subconsciemment sans doute — qu'il doit y exister et de vouloir le découvrir ; il faudrait des pages et des pages pour énoncer les phénomènes sexuels que l'on a « voulu voir » chez les bactéries et chez les spirochètes et chez les trypanosomes et chez bien d'autres ; il faut malheureusement des semaines et des mois de recherches pour désencombrer la littérature d'un sujet de toutes les erreurs qu'a fait naître l'obstination à raisonner par induction, des pluricellulaires aux protistes.

Les biologistes tendent actuellement à concevoir les protistes comme un groupe d'organismes à part, qu'il ne faut pas ranger « avant » les pluricellulaires mais « à côté » d'eux. Ils ont renoncé fort judicieusement à expliquer les

pluricellulaires par les protistes, ils n'ont pas assez renoncé à expliquer les protistes par les pluricellulaires

De ce que les protistes que nous pouvons connaître n'occupent plus aux yeux des phylogénistes cette place de choix entre la matière inerte et les organismes pluricellulaires, mais qu'ils se placent aux extrémités de rameaux divergents, il résulte que le rôle des systématistes a un peu perdu de son intérêt en cette matière.

Un problème assez conséquent cependant est soumis à leur sagacité. Le groupe des protistes *tel qu'on le conçoit généralement* est-il un groupement logique, c'est-à-dire, réunit-il des organismes ayant entre eux des liens de parenté plus étroits qu'avec des groupements voisins ? Qu'il y ait un groupement logique de protistes évoluant à côté, en dehors des pluricellulaires, cela ne fait pas de doute, mais pratiquement ses limites sont malaisees à fixer.

Il est des organismes qui ne sont pas composés de cellules mais qui pourraient bien descendre d'ancêtres cellulaires et n'être que des pluricellulaires dégradés. On connaît dans la Série Zoologique des animaux régressés qui dérivent incontestablement d'ancêtres incomparablement plus complets ; on connaît les Dicyémides, apparemment si rudimentaires qu'on a hésité à les classer parmi les métazoaires et qu'on en fit des mésozoaires sensément intermédiaires entre les protistes et les métazoaires ; ce sont des régressés parasitaires, et certains chercheurs autorisés (1) n'hésitent pas à les rattacher à des vermidiens fort compliqués. Peut-être la régression parasitaire pourrait-elle parfois dégrader jusqu'à l'état non cellulaire des descendants d'ancêtres pluricellulaires ; des organismes actuellement considérés comme protistes ont des carac-

(1) Lameere, Bull. Scient. Fr. et Belg., 50, 51, 53 (1916-1919).

tères si aberrants et si complexes — nous pensons notamment aux Cnidosporidies — que la possibilité de leur origine métazoaire mérite d'être envisagée.

Il est des organismes pluricellulaires — et nous pensons ici aux Volvocides et aux énigmatiques Blastodinnides — qui ont plus d'affinités avec les vrais protistes qu'avec la plupart des métaphytes ; ce sont de petits rameaux, sans épanouissement, de protistes évolués suivant la tendance pluricellulaire ; par raison de facilité on les range parmi les protistes.

Bien d'autres cas discutables se présentent à qui tâche de fixer des frontières au groupe des protistes ; elles sont indistinctes et seront souvent encore rectifiées. Pour la facilité des travailleurs il y a sans doute grand avantage à étendre le plus possible ces frontières et à joindre sous la même étiquette tous les organismes non cellulaires ; tant mieux, si le spécialiste est forcé d'enregistrer des faits qui excèdent un peu son domaine réel, il n'a qu'à y gagner d'utiles éléments de comparaison ; tant pis, si le concept de protiste a provisoirement quelque chose d'un peu arbitraire, presque toutes les grandes cases de classification ont le même défaut.

Un autre problème intrigue parfois les systématistes : c'est d'établir quels sont les protistes animaux ou protozoaires et quels sont les protistes végétaux ou protophytes. Faute de critères applicables, le problème en général reste insoluble. Et d'ailleurs il paraît assez vain et sans grand intérêt, car, rien n'indiquant que le caractère d'animalité ait été de différenciation exclusivement primitive dans la phylogénie des organismes, on peut s'attendre à trouver sur un même rameau de l'arbre généalogique, des protozoaires et des protophytes ; il peut y avoir une parenté plus étroite entre une espèce animale et une espèce végétale qu'entre deux espèces animales ou entre deux végétales.

Après avoir rapidement considéré les résultats obtenus et les tendances des morphologistes, des phylogénistes, des biologistes et des systématistes, on pourrait avoir l'impression qu'ils démolissent plus qu'ils ne bâtissent et que la protistologie est vouée à la stérilité. Certes, si elle est jugée stérile parce qu'elle déçoit les folles espérances de quelques esprits chimériques et parce qu'elle n'apporte pas la solution définitive aux énigmes de la vie, il est impossible de la réhabiliter, mais qu'alors, en bonne logique, on méprise toutes les sciences naturelles. On pourrait faire à la protistologie le reproche d'avoir folâtré dans le domaine des généralisations hâtives, mais elle semble s'être ressaisie et a repris son rôle, moins brillant mais plus beau, elle n'échafaude plus pour atteindre les nuages, mais elle bâtit en matériaux plus stables ; elle est redevenue une véritable science, c'est-à-dire, qu'elle poursuit la connaissance objective des faits et, quand elle les connaît, elle les corrobore et établit bien prudemment, à partir des plus simples, des principes et des lois.

Ainsi comprise la protistologie permet un bilan qui doit nous satisfaire : dans la forêt des vérités scientifiques elle défriche, souche par souche, ce petit coin qui est son domaine ; certes, elle n'a pas atteint le cœur de la forêt, mais c'est là moins un signe d'impuissance qu'un signe de prudence ; il y eut trop de pionniers présomptueux qui se sont aventurés et perdus dans le fourré avant que les routes fussent établies. Un grand résultat à porter à l'actif de la protistologie, c'est d'avoir établi l'inconsistance des conceptions hardies de ces premiers pionniers.

Peut-être des esprits chagrins trouveront-ils bien vaine cette poursuite de vérités parfois si peu conséquentes. Il faudrait leur répondre qu'effleurés par le grand mal de ce siècle utilitaire, ils ne saisissent pas la beauté de la science qui poursuit la connaissance et a le droit de se désintéresser des résultats pratiques. Mais comme ils ne

comprendraient pas, on peut leur répondre aussi que le plus souvent la recherche désintéressée trouve un stimulant dans la découverte fortuite de vérités utiles. Ce fut le cas pour les recherches protistologiques. Depuis cinquante ans et jusqu'à nos jours on étudie les protistes pour leur intérêt propre, mais cette science conquiert de plus en plus de faveur parce que l'on découvre de plus en plus de protistes qui jouent un rôle pathogène dans les maladies de l'homme ou des animaux. Il y a quarante ans, ce fut la découverte du plasmodium de la malaria ; il y a trente ans, celle des amibes de la dysenterie humaine ; depuis une vingtaine d'années on connaît les trypanosomes qui provoquent la maladie du sommeil et les spirochètes qui provoquent la syphilis et le pian ; il y a deux ans, on découvrit le spirochète de la fièvre jaune... et nous en passons beaucoup de moindre importance, et nous nous défendons de parler des bactéries et des microbes qui sortent du domaine habituel de la protistologie. La découverte des protistes pathogènes et l'étude de leur éthologie a dans la plupart des cas permis de lutter efficacement contre les fléaux qu'ils déchaînent, mais c'est là un sujet trop vaste à aborder. Mieux vaut abréger et conclure.

On tend de plus en plus à considérer que les protistes, c'est-à-dire tous les organismes non cloisonnés en cellules, forment un groupe hétérogène. La plupart d'entre eux cependant sont les descendants éloignés d'ancêtres non cellulaires qui ont évolué suivant des tendances différentes de celles des pluricellulaires, avec lesquels ils n'ont qu'une parenté fort lointaine, non pas directe mais collatérale. Ils ont évolué de façons fort diverses et dans le monde des protistes existe une variété de formes innombrables et une complication de structure d'autant plus déroutante qu'elle est en quelque sorte condensée. A cause de leur spécialisation et de leur complexité, les

protistes, pas plus que les pluricellulaires, et peut-être moins qu'eux, ne donnent pas la solution élémentaire aux problèmes que les biologistes se posent sur les énigmes de la vie.

Bref, les conceptions actuelles de la protistologie ne sont plus ce qu'elles étaient, et parmi ses enseignements il en est deux qu'elle inculque profondément : c'est une prudente défiance vis-à-vis de toute affirmation même fort autorisée, c'est une profonde humilité devant la faiblesse de notre perspicacité et la fréquence de nos errements.

Paul Debaisieux,
Professeur à l'Université de Louvain.

LES

Chocs en Médecine et en Biologie

Un professeur, parlant à ses élèves du mystère de la Trinité, usa si bien de l'analogie et de la comparaison qu'un de ses auditeurs, un peu naïf, s'écria : « Ah ! je comprends maintenant la Sainte Trinité ! »

Notre esprit aime, en effet, la comparaison imagée et c'est ce qui explique la vogue si grande à l'heure actuelle du mot « choc ou shock ».

Choc, cela fait image : on croit voir d'emblée ce qui se passe dans un panier d'œufs qui a reçu un choc. Le mot imagé a du bon : c'est l'épingle qui fixe l'insecte sur le carton ; la comparaison est utile, à faible dose et de bonne qualité, mais leur inconvénient à tous deux est de faire croire que l'on a compris, de satisfaire la curiosité de savoir, et d'arrêter l'esprit sur le chemin de la connaissance.

Le mot est à la mode : Choc nerveux, choc opératoire, choc traumatique, choc anaphylactique, choc hémoclasique, choc-émotion, et j'en oublie, toutes ces expressions se retrouvent maintenant au courant des lectures.

Je voudrais donner aux lecteurs de la Revue, des clartés, pas plus, sur ces questions du plus haut intérêt scientifique et même pratique. Ces pages n'étant pas écrites pour les personnes initiées, j'ai laissé de côté toute érudition bibliographique, et je n'ai nullement cherché à être complet. Il faudra sans doute toute la bienveillance du lecteur pour penser que j'ai été intéressant.

Définition. — Comme le mot Choc, au sens ordinaire, implique l'idée d'instantanéité, puis de trouble et de secousse dans l'objet choqué, ainsi le *Choc biologique* comprend la réaction, soudaine ou très rapide, de l'organisme vivant à une cause non moins soudaine et rapide qui vient le troubler. Les actions lentes ne produisent pas de choc et il est remarquable combien facilement le corps les supporte, en s'y accomodant, en s'y adaptant.

Injectons dans une veine une solution donnée : si nous procédons lentement, rien ne soulignera l'opération et l'organisme s'en accommode aisément. Agissons rapidement et nous provoquons un choc, c'est-à-dire une réaction brutale, vive, qui trahit l'intolérance du corps, par impossibilité de s'adapter si vite à un nouvel état de choses.

Si j'exerce sur ma joue une pression forte, très forte même mais lente et progressive, j'irai loin dans la tolérance. Au contraire, si la pression est forte, mais vive et instantanée, cela devient une gifle, un coup de poing, et la réaction locale sera vive également, sans parler de la réaction morale !

Les chocs biologiques dont nous allons parler ici, sauf le premier, sont des réactions, des révoltes à l'entrée brutale dans l'organisme, ou mieux dans le sang, de produits anormaux par la qualité ou par la quantité. Ces réactions se caractérisent par des symptômes trahissant *une atteinte profonde des grands appareils organiques* et en particulier ceux qui commandent la circulation, la respiration. Rappelons que ces « grands postes de commandement » sont le cerveau, le bulbe et le système nerveux dit du grand sympathique. Celui-ci a pour ainsi dire ses racines dans la moelle, le cerveau et le bulbe, et se distribue, telle une inextricable liane, à tout le corps.

Choc cranio-cérébral. — Éliminons d'abord les phénomènes de choc les plus connus, ceux du choc cérébral

par coup porté sur le crâne. De ce choc sur le crâne, tout le monde sait les conséquences, depuis les classiques trente-six chandelles jusqu'à la perte de connaissance et la mort, en passant par l'étourdissement avec ou sans paralysie des membres. La mort peut être foudroyante comme la cause : ainsi fait le maillet qui écrase le front du bœuf ! *Procumbit humi Bos..*

Mais sans aller si loin, si nous prenons le cas moyen, nous trouvons comme signes la pâleur de la face, la lenteur du pouls, l'irrégularité de la respiration, c'est-à-dire les troubles des grandes fonctions annoncés.

Ici, l'explication est relativement simple.

La force vive du coup, de la chute, a dépassé la résistance du crâne. La paroi osseuse s'est laissé déprimer et la force vive s'est propagée aux organes nobles : cerveau et bulbe, logés dans la boîte crânienne. Notre regretté collègue, le Dr Duret, a eu le grand mérite de montrer la part qui revient, dans le mécanisme de ces lésions, au liquide céphalo-rachidien. Entre le crâne et le cerveau, il y a un faible espace que remplit une lame de liquide céphalo-rachidien, qui forme aux organes comme un coussin protecteur. Mais, comme ce liquide est *incompressible*, il transmet au cerveau et au bulbe les pressions qu'il reçoit, et si celles-ci sont instantanées, elles meurtrissent instantanément ces organes nerveux, avec toutes les conséquences que nous connaissons.

Tel est le mécanisme de ce Choc cérébral et surtout bulbaire.

Il est admis sans susciter autre discussion que sur des détails qui ne nous intéressent pas ici.

Chocs nerveux. — Mais on observe souvent en médecine et en physiologie, à la suite de telle ou telle cause, des accidents qui ont tout ou partie des symptômes du choc cérébral et bulbaire. En vertu de notre penchant pour l'analogie, on leur a donné également le nom de

Choc, et comme on a pensé que le système nerveux y était pour beaucoup, on l'a baptisé du nom de nerveux.

Choc nerveux ! Ces deux mots ont, depuis, caché bien des erreurs et abrité beaucoup de savante ignorance !

Voyons-en quelques exemples. Il en est d'historiques.

En voici un qui n'est pas d'hier. Sophocle meurt subitement en apprenant qu'il a obtenu la couronne olympique : Choc nerveux ! Pitt fait de même en apprenant le résultat de la bataille d'Austerlitz : Choc nerveux !

On meurt de peur, on meurt de douleur, voire de plaisir :

Moi seule en être cause et mourir de plaisir,

dit l'imprécante Camille, dans *Horace* !

On a même créé le mot Émotion-choc. Ce mot plaît à celui qui pense à un colis de porcelaine manié par un employé, mais cela n'explique rien.

Jusqu'ici tout est ou semble être d'origine psychique et ne fait que montrer l'intime rapport du moral avec le physique. Faisons un pas de plus. Sur la peau d'une malade pusillanime, un chirurgien trace *avec son doigt* le trajet de l'incision qu'il va faire : Mort subite !

Dans un simulacre d'exécution par la guillotine — mauvaise plaisanterie — des jeunes gens tracent sur le cou d'un camarade une incision circulaire avec le doigt : Mort subite. Mélange de psychique et de sensation.

Sur l'abdomen d'un lapin, je donne un coup sec avec une règle : Mort subite. Choc nerveux réflexe, dit le physiologiste, et, pour vous convaincre, il vous dira que ce n'est qu'un cas particulier des phénomènes d'inhibition.

Intervenons maintenant par une véritable opération. Le broiement des nerfs, la contusion d'organes très sensibles provoque facilement une réaction de l'ordre des états de choc. Combien de fois n'entendons-nous pas dire dans ces cas : La douleur m'a été au cœur !

preuve que le système nerveux qui va au cœur ou dans cette région, a été vivement impressionné.

On a encore appelé choc nerveux la dépression qui suit la manipulation des viscères abdominaux ou leur mise à l'air durant un temps trop prolongé. On devinait les nerfs de l'intestin irrités par ces manœuvres et l'on disait que le système nerveux central, le Bulbe, devait en être « choqué » par voie réflexe.

Avançons dans cette voie, mais que le lecteur veuille bien remarquer le pas que nous allons faire. Nous allons pour ainsi dire franchir le Rubicon, on dirait, en Géométrie, le Pont aux Anes !

Nous voici dans une série de faits longtemps qualifiés de « Choc nerveux » et l'on verra l'erreur qu'entretenait cette dénomination commode.

Choc dans les plaies et broiements. — Un homme est renversé par une locomotive. On le relève, les cuisses écrasées, pâle, sans connaissance, le pouls petit. Il se refroidit rapidement, une sueur visqueuse couvre son front : Choc nerveux, dit-on. Le broiement des nerfs, la douleur, l'émoi, l'angoisse, tout semble confirmer ce diagnostic banal et, de fait, rien ne s'oppose à ce que l'on qualifie de choc nerveux ce tableau.

Mais assez rapidement le blessé se remet. On le réchauffe, on le ranime par des moyens appropriés, la connaissance revient...

On se rassure du côté de l'état général, on reprend espoir : le grand danger est écarté ; celui de l'état local n'est rien auprès du premier.

Mais voici que, quelques heures plus tard, le malade est repris d'accidents plus effrayants que les premiers. Il pâlit davantage, son pouls file et devient imperceptible, la tension artérielle baisse. Les traits se tirent, le nez se pince, la parole se fait lente et difficile, l'esprit s'alourdit et semble s'obnubiler et la mort survient au milieu

d'accidents ultimes divers : convulsions, vomissements, délire, troubles de la température... Et l'on disait de nouveau : choc nerveux prolongé. Car nous n'avions rien de mieux à offrir. Une infection par les microbes n'a pas cette allure suraiguë et choquante. Seul, le système nerveux, profondément touché, nous semblait pouvoir donner une explication biologique des phénomènes observés.

J'ai pris l'exemple d'un écrasement des membres inférieurs, parce que, jadis, il était l'un des accidents graves les plus communément observés.

Mais hélas ! la guerre a étendu le champ des observations chirurgicales. Le choc des blessés a pu être étudié avec un luxe de matériaux inconnu chez nous depuis longtemps. Il l'a été par des hommes supérieurs, non seulement sur les champs de bataille, dans les hôpitaux, mais encore dans les laboratoires où de longues séries d'expériences ont été faites sur les animaux. Le nom du professeur Quénu, de Paris, est primordialement attaché à cette découverte, dont je ne puis donner ici que le principe et un court exposé.

Par un mécanisme quelconque, un homme subit un grave délabrement : obus, écrasement, opération mutilante... Pour la netteté du cas, supposons une attrition marquée des tissus plus ou moins réduits en bouillie sanglante. Le premier choc passé comme j'en faisais le tableau, surviennent les troubles également décrits.

Cause des accidents dans le choc des blessés. — Le professeur Quénu émit l'opinion qu'il s'agissait alors de phénomènes d'empoisonnement par des *substances venant du foyer d'attrition des tissus.*

Il fallait le démontrer.

Une première présomption se tire du fait que les accidents surviennent surtout chez les blessés dont les tissus ont été broyés, réduits en bouillie et privés par conséquent

de vitalité ou n'ayant qu'une vitalité très faible, tissus en pulpe capable de fournir des éléments résorbables par la circulation.

Ensuite, on observe les phénomènes, dits de Choc, chez les blessés dont la plaie anfractueuse, communiquant mal avec l'extérieur, ne peut pas facilement évacuer les liquides, tandis que ceux qui les laissent s'écouler aisément, par une large plaie, se défendent mieux.

On avait remarqué aussi que les blessés, auxquels on avait appliqué le garrot, échappaient souvent aux accidents de choc secondaire. Chacun sait que le garrot est, en somme, un lien circulaire qui, serré au-dessus de la blessure, vers la racine du membre, a pour but de suspendre la circulation du sang dans l'extrémité inférieure ou distale de ce membre et constitue un moyen facile et sûr d'empêcher et d'arrêter les hémorragies. On comprend dès lors que la circulation étant interrompue, les vaisseaux ne peuvent plus résorber les matières nuisibles pour les porter au contact des grands centres nerveux.

Comme contre-épreuve, on avait vu des faits comme celui-ci, que rapporte Quénu. Un soldat, grièvement blessé au membre supérieur, avait subi l'application du garrot. Il attendait son tour d'opération. Son état général était parfait. Il alla à pied à la table d'opération, en fumant sa cigarette. On lui enlève le garrot : presque instantanément il est pris de ces accidents graves décrits plus haut, absolument *comme si on venait de lui injecter une dose d'un poison violent.* L'amputation du bras fut faite aussitôt, et le blessé guérit, la source des accidents étant enlevée.

Mais à cet ensemble de preuves et de présomptions, il manquait l'expérimentation sur des animaux. Elle fut faite et voici quelques résultats. On broie la patte d'un cobaye sans léser la peau, au moyen d'une forte pince : l'animal succombe quelques heures plus tard, comme les grands blessés. Chez d'autres cobayes, on applique *d'abord*

le garrot sur un membre, *puis* on broie les muscles de celui-ci. *Les accidents graves ne se développent pas* et l'animal supporte le traumatisme, c'est-à-dire les violences, sans mauvais résultats.

Mais si, après quelques heures d'attente, on enlève subitement le garrot, tous sont pris des accidents connus, et plusieurs en meurent.

Il est difficile de voir plus belle confirmation de l'hypothèse que la cause des accidents est due à la résorption de produits se formant dans le foyer de broiement ou d'attrition.

Origine des substances nocives. — Mais quels sont, des organes broyés dans ce foyer, ceux qui donnent les matières nocives ? Les expériences de Delbet ont permis de croire que ce sont les muscles broyés qui sont l'origine du poison. Pour le démontrer, il a injecté à des rats, sous la peau, de la pulpe de muscles sains *broyés*, et des accidents graves et mortels se sont produits. La clinique vient corroborer cette opinion en montrant que ce sont surtout les grands délabrements *musculaires* qui s'accompagnent des accidents de choc traumatique.

Des objections ont été naturellement et légitimement faites à ce qui n'était qu'une hypothèse et semble maintenant une réalité.

Dans ce foyer attrit, broyé, il n'y a pas que des muscles : il y a aussi des nerfs et n'est-ce pas la lésion, le broiement de ces nerfs, qui provoque un choc nerveux dangereux ? La douleur ressentie, brutale, soudaine, ne peut-elle amener, là, comme ailleurs, des accidents nerveux ?

Sans nul doute, et l'objection a sa valeur ; mais elle est facile à résoudre pour un expérimentateur.

D'abord, notons que la crise se déclare, que le choc se produit plusieurs heures après l'accident provocateur de la souffrance : or les accidents que provoque le broiement d'un nerf sont immédiats.

Ensuite, si je sectionne la moelle épinière, je supprime toute sensation douloureuse pour l'animal et néanmoins le choc se produit, les accidents se déclarent si je broie les muscles.

L'empoisonnement ne proviendrait-il pas de l'action des microbes ? L'examen des produits des tissus broyés a été souvent fait et a été négatif dans nombre de cas, non pas dans tous, car il est bien évident que broiement et infection par les microbes peuvent être et sont souvent combinés.

Nature des poisons. — D'accord sur l'origine des substances nocives, la discussion reprend sur leur nature. S'agit-il de poisons chimiques, alcaloïdes redoutables de la famille des leucomaïnes ou des ptomaïnes ? S'agit-il de ces poisons comme en fabrique journellement l'organisme humain par les transformations de nos tissus ? A ce point de notre exposé, voici que s'ouvre un aperçu nouveau.

Y aurait-il quelque relation entre la désagrégation normale et régulière de nos tissus qui fournit, on le sait, des poisons et cette désagrégation *rapide et brutale* qu'est le broiement ? Pourquoi pas ? Mais ici il nous faut remonter un peu en arrière dans cette voie nouvelle que nous venons de rejoindre.

Les tissus du corps humain se renouvellent sans cesse. Par les aliments élaborés par le tube digestif, nous leur apportons des éléments neufs pour les rajeunir, et eux, en échange, ils se débarrassent des déchets comme un foyer de ses cendres.

Les albuminoïdes transformés constituent la part la plus importante de ces déchets qui sont enlevés par le sang et éliminés par différentes voies : foie, intestin, peau, et surtout reins. Quand nos organes, appelés émonctoires, sont en bon état et fonctionnent bien, la quantité de déchets reste dans le sang à un taux normal bien connu des chimistes biologiques, si leur production n'est pas trop rapide

Le plus connu de ces déchets et le plus abondant, c'est l'urée. La teneur en est environ de 30 à 40 centigrammes par litre de sang. Si cette urée ne s'élimine pas, c'est l'urémie qui commence avec des accidents, d'abord légers mais progressifs, comme l'accumulation de l'urée dans le sang. Mais l'urée est loin d'être le seul produit dont l'organisme cherche à se débarrasser, et il n'en est pas le plus nocif. La liste en est si longue que le lecteur s'effraierait de la lire ici. Retenons seulement que des substances destinées à la « Poubelle » de notre corps, sont de *véritables poisons.*

Pour fixer les idées, je dirai que si la valeur normale d'un *groupe* de ces produits est estimée à 32 centigrammes par litre de sang, nous verrons tout à l'heure à quel chiffre il peut monter chez les grands blessés.

Me voici arrivé au point où j'ai commencé ce rappel de chimie biologique. Pour expliquer le choc, l'empoisonnement, n'y a-t-il pas dans le sang des grands blessés, des substances empoisonnantes ?

Causes des accidents de choc. — Ces substances ne seraient-elles pas les mêmes que celles qui existent à l'état normal, mais en quantité *brusquement* augmentée jusqu'à devenir dangereuse ?

Eh bien ! qu'a dit l'analyse chimique ? Ceci. — Si, à l'état normal, pour un groupe de substances de déchet, elle trouve le chiffre de 32, chez les grands blessés, elle a décelé parfois celui de 102, plus de 3 fois le chiffre normal !

Mais leur abondance plus grande dans le sang des blessés ne suffit pas pour prouver qu'ils sont la cause des accidents. — A cette objection, le physiologiste s'arme d'une seringue et injecte dans le sang d'un animal ces produits qu'il connaît comme étant des déchets de l'organisme, produits de nos tissus en incessante modification. Les accidents se déclarent comme chez les blessés. Aucun des autres éléments ne produit les mêmes résultats.

Il semble donc bien permis de parler de l'empoisonnement des grands blessés et d'expliquer par là les accidents graves de choc qu'ils présentent parfois. Évidemment, la même explication peut rendre compte des accidents plus légers chez des blessés de moindre importance, mais dont l'organisme se défend mieux ou chez lesquels la dose de poison est moindre.

Il est bien entendu que ces poisons circulent dans le sang et vont porter leur attaque sur le... j'allais dire sur le Bureau central ! sur le cerveau et le bulbe de qui relèvent directement ou indirectement les grandes fonctions : circulation, respiration, chaleur animale, et qui sont celles précisément troublées dans le choc.

Le lecteur peut juger combien ce mot de choc traumatique, choc opératoire, choc des grands blessés, même si on l'écrivait à l'anglaise : Shock, combien l'expression cachait une ignorance et nous induisait en erreur. Elle plaçait sous le même vocable deux phénomènes aussi différents : le choc nerveux évoquant l'idée d'un trouble presque fonctionnel, et le choc traumatique qui semble bel et bien un empoisonnement, une toxémie par albuminoïdes. Le bénéfice ne se borne pas à cette seule acquisition et nous verrons plus loin que le traitement des grands blessés y a beaucoup gagné.

Choc cérébral connu de tout temps, *choc nerveux* connu depuis longtemps, mais dont nous n'avons pas l'explication certaine, *choc de blessés* connu depuis toujours, et qui semble avoir donné son secret, à cette triade vient s'ajouter une nouvelle série dont l'étude fait la gloire de la physiologie moderne et, on me permettra de le dire ici, de la science française. *Choc anaphylactique, choc hémoclasique, choc colloïdal, choc protéinique*, ces mots et les grandes choses qu'ils désignent sont nés en France. Leur importance est telle, qu'en une seule année, on

enregistrait 1800 titres de Bibliographie les concernant ; et le mouvement n'est pas arrêté.

Exposons les faits fondamentaux.

Choc anaphylactique. — Si à un être vivant, animal ou homme, on injecte, sous la peau, du sérum sanguin, c'est-à-dire du sang privé de ses globules et réduit à la partie claire, sauf quelques rares exceptions, le sujet injecté n'éprouvera rien. Mais si, *quelques semaines plus tard*, on lui injecte la même dose du *même sérum*, il va se produire une vive réaction qui ressemble bien à un empoisonnement, souvent mortel. Cette réaction à reçu le nom de *choc anaphylactique.*

La première dose de sérum, au lieu de vacciner le sujet, de le rendre insensible à ce liquide, l'a, au contraire, rendu plus sensible aux injections subséquentes. Voici donc le sujet littéralement empoisonné par une substance que d'abord il avait supportée sans troubles ni accidents. Que s'est-il donc passé dans son organisme ? Toute une série de modifications que révèle l'examen de laboratoire, c'est-à-dire que l'on peut voir, sans compter aussi ce que l'on ne voit pas.

Il y a un trouble dans les humeurs. Ce trouble brutal, cette modification a reçu le nom de *Choc hémoclasique.* Les éléments en sont tellement d'ordre scientifique que je n'ose les donner qu'en note (1).

Ils sont tellement constants qu'ils caractérisent littéralement ce que l'on appelle le choc hémoclasique. Mais on observa bien vite qu'ils n'apparaissaient pas seulement

(1) Pour mémoire, voici les éléments biologiques de l'hémoclasie de Widal :

Tension artérielle abaissée ; coagulation du sang plus rapide ; diminution des globules blancs (leucopénie) ; inversion de la formule leucocytaire ; raréfaction des plaquettes sanguines ; rutilance du sang veineux ; diminution de l'indice réfractométrique du sang.

dans l'anaphylaxie occasionnée par le sérum. Le phénomène était d'ordre bien plus général et c'est pour cela que la question a pris une ampleur insoupçonnée et que ces problèmes touchent maintenant à la grande Biologie.

1° On reconnut donc que l'hémoclasie — mot que nous emploierons désormais dans son sens le plus large et toujours avec son caractère de *choc* — que l'hémoclasie se produisait quand on injectait certaines substances albuminoïdes dans le sang et, tout de suite, nous nous rappelons les matières albuminoïdes des plaies des grands blessés et le choc traumatique.

2° On constata ensuite qu'il n'était pas toujours nécessaire que le sujet eût été préalablement sensibilisé par une injection première pour que l'hémoclasie se produisît.

3° On prouva qu'il n'était pas toujours besoin que la substance fût injectée dans le sang, mais l'absorption pouvait se faire par les *voies digestives*, et tout de suite on se demanda si certains accidents des empoisonnements alimentaires n'étaient pas dus à une hémoclasie, tant les symptômes de choc se ressemblent dans les deux cas. Widal et ses élèves se sont attachés à démontrer la réalité de cette hypothèse. Et depuis lors, la recherche des éléments de l'hémoclasie, donnés en note, est couramment faite au laboratoire et à la clinique pour déceler cet empoisonnement soupçonné.

Et de nouveaux moyens sont trouvés pour déceler l'empoisonnement, l'hémoclasie et, mieux que cela, pour préciser la nature du poison. Quelques gouttes d'une solution de la substance incriminée, versées dans l'œil ou ingérées dans une légère scarification de la peau, amènent une réaction locale, quand on est tombé sur la substance toxique cherchée.

Voilà donc une voie nouvelle toute trouvée. Va-t-on rester impuissant en face d'accidents que l'on connaît si bien? Tout cela va-t-il rester platoniquement dans le laboratoire ?

Ce serait mal connaître les médecins.

Beredzeska démontre que, si à un sujet sensibilisé par le sérum et qu'une seconde injection de sérum *tuerait* dans quelques semaines, si à ce sujet, dis-je, il injecte une *très faible* dose de sérum, *quelques instants avant* la seconde injection qui doit être mortelle, le sujet résistera : il est désensibilisé ! Et l'expérience est reprise sur d'autres terrains.

Puisque les doses faibles préalables d'une substance albuminoïde ont vacciné, c'est-à-dire désensibilisé le sujet pour le sérum, le même procédé ne vaccinera-t-il pas contre les divers empoisonnements, alimentaires et autres ? Et les faits répondent à cet espoir ! Si, avant de faire absorber l'aliment qui allait déclancher sans cela l'hémoclasie, je fais absorber de *faibles doses* de cette substance par une voie quelconque, eh bien ! l'empoisonnement ne se produira pas.

Quels horizons nouveaux s'ouvrent devant les médecins!

Mécanisme du choc. — En quoi consiste intimement cet état de sensibilisation de l'organisme, cette exaltation de la susceptibilité qui va se manifester à l'injection seconde, ou déchaînante selon l'expression adoptée et qui fait image ? Confessons que nous n'en savons rien. On a vu que nous connaissons assez bien les phénomènes qui se passent dans l'appareil vasculo-sanguin au moment du choc, mais nous ne savons pas pourquoi ils se produisent.

On peut croire que la cause inconnue agit sur le système nerveux du grand sympathique qui, répandu partout, explique la diffusion des symptômes et leur modalité, mais en réalité rien n'est démontré. Cette ignorance du mécanisme intime n'empêche pas la Science d'avancer et de tirer de ses observations des conclusions pratiques qui autorisent tous les espoirs.

On a bien usé de comparaisons. On parle bien de l'état

d'équilibre colloïdal que vient troubler quelque substance aux allures bolchévistiques ! L'esprit aimerait assez se figurer notre organisme comme un édifice complexe, toujours en réaction contre les causes qui voudraient le jeter bas, en tout ou en partie, la chute du tout constituant la mort, la chute partielle étant la maladie : mais ce sont là comparaisons, et pas plus.

Le lecteur, qui a eu le courage de me suivre jusqu'ici, ne recevant pas de son guide l'explication satisfaisante de ces faits, se contentera peut-être de lui demander à quoi servent toutes ces recherches de haute biologie et si les pauvres malades en retireront quelque profit ! J'ai déjà dit que si la Biologie peut se désintéresser des résultats utilitaires de ses découvertes, il n'en est pas de même de la Médecine et que, dans tous ces savants travaux, apparaît, toujours et au premier plan, le désir de soulager les malades.

Résultats pratiques. — Oui, ces notions éclairent d'un jour nouveau les questions au sujet desquelles notre ignorance était nettement déclarée ou bien se cachait derrière un mot. Nous expliquons maintenant des faits comme le choc traumatique, nous l'avons vu et tout de suite, par voie de conséquence, nous modifions notre façon de faire vis-à-vis des grands blessés. Nous supprimons les tissus broyés, soit par un nettoyage, un épluchage serré de la plaie, soit par sa large ouverture, soit enfin par une rapide amputation, et en attendant que l'un quelconque de ces moyens puisse être appliqué, nous supprimons par le garrot toute possibilité de résorption des produits nocifs.

En face d'accidents quelconques dans lesquels on peut soupçonner l'action de produits toxiques — et l'expérience montre que le fait est fréquent — il suffit de chercher le genre ou l'espèce des agents provocateurs.

Il y a une technique nouvelle, trop longue et trop

spéciale pour pouvoir être exposée ici. Suivant les principes exposés plus haut, de même que le chimiste met la substance inconnue qu'il veut reconnaître successivement en contact avec une série de réactifs jusqu'à ce que se produise la réaction révélatrice, de même font le physiologiste et le médecin. Par la voie digestive, ou sous-cutanée, ou cutanée, par piqûres, incisions, scarifications, il introduira successivement des substances diverses jusqu'à ce qu'il provoque précisément les accidents qu'il veut combattre.

Dès lors il est maître de la situation et, par une vaccination progressive avec cette même substance, il arrivera à empêcher le retour des accidents. La chose pourra demander des semaines, des mois, des années, mais les acquisitions de la Science à ce jour permettent tous les espoirs ; et encore ne sommes-nous qu'aux premières promesses !

Ce nourrisson va périr. Son estomac se refuse à digérer le lait maternel ou animal. Et voici qu'à la suite de quelques gouttes de lait injectées sous la peau, progressivement, la tolérance s'établit et l'enfant est sauvé.

Êtes-vous empoisonné par le lait, les œufs, les moules et cent autres substances que l'on ne soupçonnait guère capables de tels méfaits ? Votre médecin vous injecte ou vous fait absorber progressivement de petites doses de la substance qui vous rendait malade : il vous vaccine littéralement contre le lait, le homard, le chocolat !!

Vous avez la migraine ? Pour quelle cause ? Le médecin cherche, péniblement quelquefois, au milieu de tant de substances qui sont chaque jour absorbées, celle qui déclanche le choc migraineux. S'il la trouve, non seulement il vous évite la crise en vous défendant ce produit, mais encore il vous vaccinera pour toujours, en vous faisant absorber de petites doses de cette substance ou d'une analogue.

Avez-vous des accès d'asthme? Pourquoi? Est-ce parce

que vous êtes sensible à l'odeur d'un animal, d'une fleur, d'un parfum dont les subtils éléments viennent vous donner, sans que vous vous en doutiez certes, un choc hémoclasique. On cherche et, la cause connue, la même thérapeutique pourra vous guérir.

Les cas de ce genre abondent déjà. Une jeune dame était prise d'accès d'asthme. Une enquête minutieuse démontra qu'ils se produisaient chaque fois qu'elle avait touché un cobaye, un pauvre petit cochon d'Inde ! On la vaccina contre le cobaye !

On désensibilise ainsi les sujets malencontreusement sensibles à certaines odeurs de plantes ou d'animaux.

Migraines, éruptions de la peau, troubles intestinaux ont même été guéris par l'ingestion de substances telles que la peptone, du groupe des albuminoïdes ou protéines, et voici créée la Protéinothérapie !

Sur combien de points, dans combien de maladies, la Science ne devra-t-elle pas modifier et ses théories et ses pratiques ? Combien de maladies semblent avoir trouvé leur explication ? Il serait prématuré de croire que tout est découvert, que nous tenons la clef du problème, mais il n'en est pas moins vrai que ce sont là de précieuses acquisitions. Le sujet est si vaste, les questions sont si complexes, les difficultés sont si considérables qu'il faut déjà s'estimer bien heureux d'avoir des directives qui ne soient pas décevantes et démenties par les faits.

Ne nous imaginons pas qu'un ordre nouveau des choses est né en médecine, qu'une thérapeutique nouvelle est fondée, *ne varietur*. Non pas : nous ne sommes pas habitués à de pareilles révolutions et elles ne sont pas souhaitables. La Science évolue lentement, parce que l'emballement lui est interdit et par sa gravité naturelle et par les conséquences des erreurs qu'elle soutiendrait. Nous avons dit l'effort scientifique extraordinaire qu'a provoqué cette question des « Chocs biologiques ». Le dernier mot n'est pas dit. Les résultats obtenus illustrent

d'une façon admirable ce que peut donner l'union du Laboratoire et de la Clinique. Ils doivent faire monter vers les savants qui, pendant des années, se penchent sur ces difficiles problèmes, l'admiration de tous ceux qui savent apprécier l'extraordinaire travail qu'ils ont fourni comme aussi les services qu'ils ont rendus et qu'ils rendront encore à la pauvre humanité souffrante.

Dr Delassus,
Doyen de la Faculté libre de Médecine de Lille.

Les greffes osseuses

« La greffe est une opération par laquelle on déplace une partie vivante, de sorte qu'elle continue à vivre par les adhérences qu'elle contracte avec une autre partie du même individu ou d'un individu différent ». (Dictionnaire de Dechambre.)

Le mot « greffe », dans sa conception habituelle, éveille une idée de fertilité, d'aptitude du fragment prélevé, non seulement à vivre, mais à s'accroître, à se développer en puisant chez un hôte les matériaux nécessaires à son existence, mais en gardant aussi son individualité.

C'est dans le règne végétal que la greffe fut pratiquée d'abord, et depuis la plus haute antiquité : chacun connaît les résultats obtenus dans nos jardins ; bien des fleurs et des fruits sont dus à divers procédés de greffe.

Chez les animaux inférieurs et les embryons de vertébrés, des expériences permettent d'obtenir des individus de forme bizarre : vers bifurqués ou trifurqués, têtards à deux queues, etc.

Chez l'homme, des chirurgiens barbiers étudiaient, dès le xve siècle, l'art de refaire un nez à l'aide de lambeaux pris dans le voisinage.

Actuellement, on tente la greffe de tous les tissus : peau, tendons, nerfs, vaisseaux, os, etc. La terrible expérience de la guerre a malheureusement fourni trop d'occasions d'utiliser et de perfectionner ces méthodes.

La greffe osseuse est sans doute de celles qui ont provoqué le plus de discussions. Son étude, tout en docu-

mentant le lecteur sur un sujet important et d'actualité, montrera toute la complexité des problèmes posés.

Indications de la greffe osseuse

La greffe a été employée pour réparer une solution de continuité, résultat d'une intervention chirurgicale, d'une inflammation de l'os ou d'un traumatisme.

On l'a utilisée aussi pour fixer dans un but thérapeutique des parties normalement mobiles.

I. Soit une tumeur de l'humérus : son volume, sa nature plus ou moins maligne, son influence sur les tissus voisins exigent son ablation. Le plus souvent, il faut sacrifier en même temps le membre tout entier. Mais quel succès, si l'on se contente d'extirper l'os malade que l'on remplace par un fragment osseux de même longueur, convenablement choisi; et si, par une longue suite de soins méticuleux, on parvient à conserver le membre, avec toutes ses fonctions !

II. Une ostéomyélite, une inflammation a nécrosé une longue partie d'un os important. Le plus souvent, cet os se régénère ; mais il ne l'a pas fait, et sur une longue étendue le squelette est interrompu. Une greffe peut rendre sa fonction à ce membre impotent.

III. Une fracture grave, le plus souvent accompagnée de perte de substance et d'infection profonde, a laissé les fragments sans vitalité, incapables de se souder (1). Le membre est ballant, inutile ou à peu près : le cas s'est produit trop souvent pendant cette guerre. Faut-il amputer ? Ici encore la greffe trouve une de ses principales indications.

IV. Une fracture du crâne a nécessité une trépanation large : le blessé guérit. Mais le cerveau n'est plus protégé

(1) On appelle pseudarthrose la fausse articulation produite par la mobilité des deux fragments non soudés.

sur une étendue importante. Une greffe réussie peut réparer la boîte crânienne.

V. Enfin on sait que l'immobilisation constitue, à l'heure actuelle, le traitement classique des tuberculoses ostéo-articulaires. On l'obtient le plus généralement par des appareils, plâtrés ou autres. On a imaginé d'obtenir cette immobilisation, d'une façon définitive, en soudant les os voisins par l'intermédiaire d'une greffe. Cette méthode a été particulièrement utilisée au niveau de la colonne vertébrale, dans le mal de Pott.

Telles sont, brièvement exposées, les principales indications des greffes osseuses. Nous reprendrons ces différents points avec détail quand nous étudierons les résultats obtenus.

Technique des greffes osseuses

Nous devons distinguer deux variétés de greffes,suivant que le greffon reste en communication avec des vaisseaux (greffon pédiculé) — ou qu'il est complètement détaché de son lieu d'origine (greffes libres). Ces dernières nous retiendront le plus longtemps, car elles ont les indications les plus fréquentes et elles seules prêtent à discussion.

Greffes pédiculées.

Le greffon, qui garde un pédicule nourricier, garde aussi, du moins théoriquement, sa vitalité, et se trouve dans de meilleures conditions pour adhérer aux os voisins. Voici deux exemples typiques de ces greffes.

Soit une perte de substance importante du tibia. On peut tailler au même niveau un greffon péronier, le faire pivoter sur les parties molles, comme sur une véritable charnière, et l'insérer dans les extrémités avivées du tibia. Si l'on suit, pour cette intervention, la technique de Hahn-Huntington, on conserve les vaisseaux nourriciers du greffon, qui peut donc continuer à vivre, et se trouve dans les meilleures conditions pour se souder au tibia.

On a aussi utilisé les greffes pédiculées dans certaines pertes de substance du crâne. Mayet taille un lambeau ostéopériosté, voisin de la perte de substance, en ayant soin de laisser un large pédicule périosté ; il le bascule autour de ce pédicule et vient en recouvrir l'orifice crânien. L'expérience prouve que ce greffon continue à vivre et s'accroît.

Greffes libres.

Mais il est exceptionnel d'avoir à sa disposition, dans le voisinage même de la perte de substance à combler, un greffon de dimensions favorables et que l'on puisse tailler avec un pédicule.

Aussi, dans l'immense majorité des cas, on utilise des greffons prélevés au loin, et transplantés. On a employé, nous le verrons, des substances inertes, telles que l'ivoire ; puis des fragments osseux prélevés sur des êtres d'espèce différente ; des fragments prélevés sur des individus de même espèce ; enfin des greffons prélevés sur l'individu lui-même. Nous verrons, dans l'étude expérimentale, ce que l'on peut attendre de chacun de ces procédés. Pour le moment, donnons simplement quelques exemples et quelques techniques différentes de greffes libres.

I. Soit une perte de substance de l'humérus : il manque un *long fragment d'os*. Le chirurgien commence par préparer le « lit » du greffon : il en enlève les tissus cicatriciels et fibreux ; il dispose convenablement les organes conservés (muscles, vaisseaux et nerfs) ; enfin il avive les extrémités de l'os à réparer et leur donne une forme convenable de façon à pouvoir y placer et maintenir son greffon.

Il se dirige alors vers le péroné, par exemple (1), dont il extrait un fragment de longueur appropriée (certains chirurgiens prennent le greffon avec périoste; d'autres

(1) On peut employer aussi un fragment de tibia, comprenant toute l'épaisseur de l'os, du périoste jusqu'au canal médullaire, etc.

au contraire enlèvent soigneusement cette membrane). Il taille les extrémités de façon qu'elles s'adaptent bien aux parties avivées de l'os récepteur. Il le place enfin entre les deux fragments à réunir, fixant le plus souvent ses extrémités soit dans le canal médullaire, soit dans des encoches taillées au préalable, le fixant même parfois à l'aide de fils métalliques. Le greffon est alors recouvert par les parties molles ; la peau est refermée, et le membre placé dans un appareil.

Des soins longs et délicats seront encore nécessaires avant d'obtenir les résultats que nous indiquerons plus loin ; la greffe de longs fragments est le plus difficile à réussir.

II. Soit maintenant une fracture qui ne se consolide pas, après plusieurs mois de traitements variés. Il existe entre les fragments une perte de substance, mais peu importante. Il semble que les fragments au contact aient perdu leur vitalité et leur propriété de former un cal. Nous avons ici à notre disposition les greffes ingénieuses de Delagenière.

Comme le dit ce chirurgien, cette greffe a pour but d'apporter tous les éléments d'un cal osseux en un point quelconque du système osseux où ces éléments sont déficients ou manquent complètement. On peut supposer une fracture du maxillaire inférieur avec perte de substance. Le lit du greffon est préparé, les extrémités osseuses avivées. Le chirurgien se porte alors vers le tibia, et au niveau de sa face interne, facilement accessible, il enlève au ciseau et au maillet, des *copeaux ostéopériostiques*, de l'épaisseur d'une pièce de cinquante centimes environ, et de dimensions et de forme appropriées. L'important est que le greffon comprenne le périoste doublé d'une certaine épaisseur de tissu osseux. On prélève ainsi plusieurs greffons que l'on dispose autour de la perte de substance à combler : on suture par-dessus les parties molles.

Cette variété de greffes a été utilisée aussi pour combler des pertes de substance crânienne, réparer des fractures non consolidées des os longs, combler des cavités osseuses, etc.

Elle donne d'excellents résultats.

III. Enfin nous pouvons chercher à immobiliser dans un but thérapeutique des os normalement mobiles les uns sur les autres. Cette intervention se pratique particulièrement sur la colonne vertébrale.

Une longue incision met à nu les extrémités des apophyses épineuses de cinq, six vertèbres. Au moyen d'un ciseau approprié on divise verticalement chacune de ces apophyses, de façon à former une longue gouttière verticale, limitée de chaque côté par des apophyses épineuses divisées : c'est le lit du greffon. Le chirurgien taille ensuite sur le bord antérieur du tibia un greffon de la même longueur que la gouttière préparée : il vient l'y placer et l'y maintient en unissant solidement parties molles et greffon par des ligatures.

L'expérience prouve que ces greffons assurent une immobilisation solide de la colonne vertébrale.

Bien entendu, nous ne citons ici que quelques techniques typiques. Il en existe de multiples variétés.

Ajoutons que l'asepsie la plus absolue est indispensable à la réussite des greffes. On ne peut les tenter dans les plaies infectées. Toute l'opération doit être conduite avec le plus grand soin.

Une instrumentation perfectionnée a été réalisée pour le prélèvement des greffons. On peut utiliser des ciseaux minces et très tranchants, avec le maillet : mais il existe des scies mues électriquement, au moyen desquelles on prélève facilement des greffons réguliers.

Résultats cliniques

Voyons maintenant les résultats obtenus. Nous n'étudierons, pour ainsi dire,que les greffes de longs fragments,

plus difficiles et d'interprétation plus délicate : nous examinerons ces résultats au point de vue clinique, sans rechercher pour le moment si la greffe est restée ou n'est pas restée vivante. Enfin, si nous pouvons décrire d'assez nombreux cas positifs et bien réussis, n'oublions pas qu'il y a encore pas mal d'échecs.

Il existe donc des cas nombreux, où, après résection chirurgicale ou traumatique d'une portion importante du squelette, une greffe libre a rendu au membre sa solidité et sa fonction : le greffon s'est soudé par ses deux extrémités à l'os récepteur.

Sans doute ceci ne se fait pas toujours sans difficultés, sans retouches, sans qu'un traitement assez long vienne aider au résultat. Parfois aussi, le greffon n'adhère que par une extrémité ; l'autre ne se soude pas, et il existe là une pseudarthrose. Mais un résultat appréciable est déja obtenu, puisque le membre a gardé sa longueur et sa forme, et que, grâce à un appareil prothétique, il recouvre tout ou partie de sa fonction.

On a donc réussi à remplacer de la sorte des portions plus ou moins importantes d'humérus, de cubitus, de radius, de fémur, de tibia, etc. On a même réussi, dans des cas rares, des greffes ostéo-articulaires, rendant au membre non seulement sa solidité, mais la souplesse de ses mouvements.

Apparemment, l'os greffé ainsi nous semble un os vivant : il en a les propriétés ; et l'étude des opérés fournit des présomptions importantes sur la vitalité du greffon.

C'est d'abord l'*examen radiographique*. On sait que l'os normal présente aux rayons X une opacité connue : Le greffon, après une période où son opacité est faible, la retrouve peu à peu; on peut suivre, grâce à cette propriété, son évolution, son adhérence, ses altérations. En somme, la radiographie des cas heureux semble démontrer la vitalité persistante du greffon.

Mais ce greffon ne joue pas un rôle purement mécanique

de soutien : si le membre fonctionne, on reconnaît bientôt l'*adaptation fonctionnelle du greffon*, c'est-à-dire qu'il prend peu à peu la forme de l'os qu'il est appelé à remplacer. Le péroné transplanté sur le tibia s'hypertrophie et prend la forme du tibia. Des fragments greffés à la place de métacarpiens, prennent la forme de ces os. Ceci montre bien combien la forme des os se trouve sous la dépendance des conditions d'équilibre et de mouvement auxquelles ils sont normalement soumis.

Si l'on vient à disséquer un greffon, quelques mois après l'opération (et ceci a pu se faire dans des cas assez rares, après récidive d'une tumeur et amputation par exemple), on a pu trouver sur ce greffon des *insertions musculaires solides* montrant bien à quel point il est réellement incorporé à l'os récepteur.

Enfin il n'est pas jusqu'aux accidents survenant au greffon qui ne contribuent à prouver sa vitalité. Nous l'avons vu, le greffon est souvent mince et étroit en comparaison de l'os qu'il est appelé à remplacer (péroné, crête antérieure du tibia, os long divisé sur sa longueur, etc.). Il arrive donc parfois que pendant que le greffon se soude et acquiert une résistance suffisante, il *se fracture*. Ces fractures peuvent se produire, en apparence spontanément, pendant toute la première année. Chose curieuse, cette fracture se consolide avec une rapidité très grande, parfois en un mois. Les membres qui ont subi la greffe doivent donc être soutenus pendant un temps assez long (au moins un an) par un appareil prothétique. Mais même ces fractures, par leur évolution, semblent prouver la réelle vitalité du greffon.

Étude des divers greffons. Expérimentation

Cette étude est très complexe, et n'apporte pas encore la certitude complète. *Le greffon transplanté demeure-t-il vivant réellement?* telle est la question qui se pose et dont

nous verrons peu à peu l'intérêt. En effet, la greffe de fragments de tissus (séparés de leurs vaisseaux nourriciers) suppose pour ces tissus la propriété de vivre d'une vie propre, sinon entièrement du moins en partie indépendante de la vie de l'individu dont ils font partie.

Mettons un peu d'ordre dans la question, allant progressivement du simple au complexe, éliminant en route ce qui doit être éliminé.

A. *Corps étrangers.*

On a cherché à remplacer les pertes de substance osseuse par des corps étrangers, tige métallique, ivoire, ne pouvant avoir évidemment qu'un rôle de soutien. — Ces corps étrangers peuvent être tolérés, à condition d'être aseptiques ; mais ils n'ont, bien entendu, aucune possibilité de former un cal, d'augmenter d'épaisseur, etc.

B. *Greffes hétéroplastiques.*

On donne ce nom aux greffons pris sur un sujet d'espèce différente. Il serait tentant et facile en effet de prélever des greffons sur l'animal (lapin, chien, veau, etc.) et de les transplanter vivants, de dimensions appropriées, offrant toutes les variétés de forme et d'épaisseur.

Il est malheureusement certain aujourd'hui qu'un tel greffon est fatalement voué à la mort. Il se comporte donc comme un corps étranger, peut bien être toléré s'il est aseptique, et servir de soutien temporaire. Mais d'autres greffons donneront des résultats analogues (voir D.),

C. *Greffes homoplastiques.*

Il s'agit ici de transplanter l'os d'un homme à un autre homme. On recueille les greffons aseptiques soit sur des membres fraîchement amputés, soit sur des cadavres frais. Il semble en effet que, après la mort, les cellules continuent à vivre quelque temps d'une vie propre (plus ou moins longtemps suivant les tissus). On les conserve quelque temps dans des liquides appropriés : sérum de Locke ou de Ringer, et en glacière.

Il faut avouer que ce mode de greffe est difficile à réaliser, et on hésitera à greffer des fragments provenant d'un cadavre ou d'un membre amputé, et non stérilisés.

Il est d'ailleurs peu probable qu'il y ait véritable greffe. Il semble bien qu'il y ait plutôt dégénérescence du greffon et reconstitution d'un os nouveau dirigé par le greffon.

D. *Greffons osseux stérilisés.*

Nous pouvons faire une classe à part de ces greffons. Ce sont des fragments osseux pris soit sur des cadavres, soit sur des animaux, et traités soit par l'ébullition, soit par l'éther, soit par l'alcool bouillant, etc.

Ces greffons ne peuvent être comparés aux greffons vivants, et il ne peut être question de savoir s'ils se greffent réellement puisqu'on les a tués au préalable.

Mais ce greffon stérilisé diffère d'un corps étranger quelconque, comme l'ivoire. Il en diffère pour deux raisons : par sa structure et par sa composition chimique.

On sait que l'os est creusé d'une multitude de canaux et de petites cavités, canaux où cheminent les vaisseaux, cavités où sont logées les cellules vivantes. Le greffon mort dirige, par sa structure, il oriente l'évolution des bourgeons charnus du voisinage.

Mais il a aussi une structure chimique : il possède des sels de chaux, qui permettent à l'organisme récepteur de remanier sur place, de refaire un os nouveau et vivant aux dépens des éléments mis ainsi à sa disposition.

Agissant simplement par sa structure et par sa composition chimique, l'os stérilisé peut provenir indifféremment de telle ou telle espèce, et les os des animaux peuvent être employés.

On voit l'intérêt et l'importance de cette théorie. Il est facile de posséder à sa disposition toutes variétés d'os mort stérilisé : et si ce dernier a les mêmes propriétés que l'os vivant au point de vue de la régénération du

tissu osseux, la cause est gagnée : c'est l'os stérilisé qu'il faut employer.

E. *Greffes auto-plastiques.*

Mais il ne semble pas que cette théorie soit complètement exacte, et l'os vivant conserve de nombreux partisans.

Pour qu'une greffe libre soit dans les meilleures conditions de survie, il faut l'emprunter à l'individu lui-même, faire une greffe *autoplastique.* Ce sont des exemples de greffes autoplastiques qui nous ont servi à étudier la technique et les résultats cliniques des greffes, et nous n'avons pas à revenir sur ce point.

Ce qui nous importe maintenant, c'est de connaître l'évolution du greffon transplanté. Et ici, il faut l'avouer, nous sommes en présence des opinions les plus opposées. Alors que les uns admettent que le greffon peut vivre et se développer, d'autres croient que le fragment osseux transplanté constitue simplement un corps étranger à structure spéciale, que pénètre un tissu conjonctif jeune, parti du périoste et de la moelle de l'os récepteur, et qui en raison de son origine a le pouvoir de faire de l'os ; qu'en un mot le greffon autoplastique agit, comme l'os mort, par sa structure et par sa composition chimique, comme guide et comme excitant de l'os récepteur.

Cherchons à préciser ces deux opinions.

I. La clinique pouvait faire admettre la réalité de la greffe, et semblait autoriser l'opinion que les bouts osseux s'étaient soudés. Mais l'examen microscopique du greffon montre que celui-ci se résorbe, et que parallèlement il est envahi par une néoformation osseuse. Il y a donc mort de l'os et régénération.

Cette régénération provient, suivant la plupart des auteurs, du périoste. Mais quel est le périoste actif ? Est-ce celui du greffon ; ou celui-ci meurt-il lui-même, et est-ce simplement le périoste de l'os récepteur qui s'épanche à partir des tranches de section, sur l'os transplanté ?

Un cas a été cité, d'un os transplanté dépériosté et stérilisé : Après plusieurs mois cet os fut retrouvé entouré d'un manchon complet de périoste. On peut donc admettre que le greffon vivant et autoplastique lui-même est entièrement remanié.

Le sort du greffon, dit Tuffier en 1913, est la résorption à longue échéance et son remplacement par un tissu osseux de nouvelle formation émanant de l'os ancien. Le greffon osseux aurait cependant une action indiscutable et très importante. Sa texture propre servirait de charpente, de conducteur ostéogène pour les ostéoblastes venant de l'os ancien : d'où rapidité plus grande et formation normale dans la production de l'os nouveau, qui est bien une émanation de l'os ancien, puisqu'il tend toujours à prendre la forme de l'os primitif.

Au cours des importantes discussions sur ce sujet à la Société Française de Chirurgie, en 1919, beaucoup d'auteurs se sont prononcés en faveur de la mort certaine des greffons.

II. Mais le débat reste ouvert, et dans une étude expérimentale importante, Regard (1) se montre partisan de la survie du greffon.

Un fait paraît certain, c'est que l'implantation d'os mort ne saurait remplacer la greffe d'os vivant. Si, comme nous l'avons vu, l'os mort peut être réhabilité, peut fournir les éléments d'un os vivant de nouvelle formation, ce processus exigera un temps parfois fort long.

Citons quelques conclusions des multiples expériences de Regard.

L'os greffé peut rester vivant, mais sa survie totale et définitive est exceptionnelle.

L'os greffé devient presque toujours malade, et même gravement. D'une manière générale, les couches superficielles de l'os restent seules vivantes. Les parties profondes du greffon se nécrosent.

(1) Regard, *Des greffes osseuses*. A. Maloine, éditeur, Paris.

La greffe d'os vivant engendre des phénomènes ostéogénétiques incomparablement plus intenses que l'os mort.

Pour l'os vivant, les phénomènes ostéogénétiques peuvent provenir : *a)* du greffon lui-même pris dans son ensemble ; *b)* du périoste et des couches superficielles de l'os greffé ; *c)* de l'endoste et des couches profondes de l'os, ce qui est plus rare ; *d)* des tissus voisins par métaplasie osseuse.

Conclusions

La greffe osseuse a rendu et rend de grands services en chirurgie, permettant la réparation de vastes pertes de substance, favorisant la consolidation des pseudarthroses, réalisant l'immobilisation thérapeutique de la colonne vertébrale, etc.

On emploie soit de l'os mort et stérilisé, soit de l'os vivant.

L'os mort et stérilisé sert de conducteur et de soutien à l'activité ostéogénétique des tissus voisins.

L'os vivant, pour être greffé, doit être prélevé sur le sujet lui-même. Certains admettent que le greffon meurt, puis est remanié par l'os récepteur. Il n'y aurait donc pas greffe véritable, suivant la définition donnée au début. D'autres croient qu'il reste vivant et qu'il y a greffe véritable. Quoi qu'il en soit, le greffon autoplastique vivant s'est montré beaucoup mieux toléré et beaucoup plus efficace dans la reconstitution de l'os nouveau. Les méthodes employées sont d'ailleurs perfectibles, et les greffes osseuses sont appelées à jouer un rôle très important en chirurgie.

Dr C. Lepoutre,
Professeur à la Fac. libre de Méd. de Lille.

Le
rôle du temps dans la production

I. *Place du facteur « temps » parmi les facteurs de l'efficience.*

La notion du temps intervient dans les entreprises de production surtout aux époques où la main-d'œuvre et l'outillage font défaut. Nous traversons précisément une de ces époques. La guerre a détruit beaucoup d'hommes et de matériel et a créé des concurrences insoupçonnées avant elle. En toutes choses il faut faire vite. Il y a plus. On ne peut pas faire vite en cravachant des ouvriers qui ne se laisseraient point faire, ou en usant des machines très difficiles à remplacer à un moment où les capitaux sont rares. Il ne s'agit donc point de tendre à l'extrême des énergies, mais d'étudier scientifiquement des conditions. Nous voulons aller vite sans nous presser, et c'est seulement à une véritable science que nous pouvons en demander le secret.

Cette science de l'utilisation du temps (son vrai nom serait « chronologie » si le mot n'avait déjà un autre sens) est une partie de la science du rendement que les Américains ont baptisée, avant même de l'avoir constituée complètement, l'*efficiency*. Nous proposons de traduire par *efficience :* mot français dont l'adjectif seul est usité, par exemple dans cause efficiente. L'efficience complète étudierait donc la manière de tirer le meilleur rendement de tous les facteurs qui concourent à la production. Parmi ces facteurs, il y a des procédés techniques, comme la

synthèse des matières colorantes ou la transformation de l'énergie d'une chute d'eau en énergie électrique ; il y a des machines, comme les tours ou les métiers à tisser ; il y a des facteurs physiologiques, comme l'habileté des doigts, ou des facteurs psychologiques, comme l'intelligence d'un ingénieur ; il y a des facteurs humains collectifs, comme les liens qui unissent un chef d'entreprise à ses chefs de service, à ses ingénieurs, à ses contremaîtres, à ses ouvriers ; il y a encore l'espace qui peut être très cher au centre d'une grande ville ; il y a enfin le temps.

Tirer le meilleur parti de tous ces facteurs est l'objet d'un faisceau de sciences dont la plupart ne datent que de quelques années. Elles ont pour fondateurs des hommes dont la plupart ne sont encore connus que dans des cercles restreints. Taylor, le plus grand de tous peut-être, s'est spécialisé dans le rendement des machines-outils et dans la constitution du personnel de maîtrise d'une usine ; plusieurs Américains, comme Gantt, plusieurs Français, comme de Fréminville, ont prolongé ses études ; Emerson a esquissé une « efficiency » de la personne humaine ; Fayol a insisté sur le facteur psychologique et a proposé une hiérarchie de l'entreprise différente de celle de Taylor ; les Mosso ou les Ioteiko sont connus par leurs études de la fatigue ; les Munsterberg, les Lahy, les Mauvezin, les Piorkowski, ont insisté sur la sélection professionnelle ; Henri Le Châtelier a été en France l'apôtre de ces nouvelles tendances. Je cite au hasard, et avec beaucoup de lacunes, des noms fort inégaux. C'est que l'on défriche à la fois des terrains fort divers. La synthèse de ces études est encore à faire. Des Sociétés se sont récemment fondées pour l'essayer. Qu'il me suffise de nommer, non point les plus importantes, mais celles dont j'ai pu connaître les travaux, par exemple la « Société Taylor » en Amérique, et, en France, la « Conférence de l'Organisation Française » ou l'« École d'Administration et d'Affaires ».

Cependant on peut affirmer dès aujourd'hui que la science qui résultera du groupement de ces chapitres, bien qu'elle soit encore dans l'état de la chimie au temps de Lavoisier, laisse apparaître une extraordinaire fécondité. Il nous faudra sans doute un grand nombre d'années pour qu'elle ait l'ampleur de la chimie actuelle, et son influence sera plus grande encore, puisqu'elle étudiera, dans toutes les branches de la production, la totalité du facteur humain.

Dans cet article, nous voulons simplement parler de la meilleure utilisation du facteur « temps ». Nous nous sommes borné à un seul exemple pour mieux décrire notre méthode. Si nous avons choisi celui-là, c'est pour deux raisons essentielles : d'abord le temps est peut-être le facteur le plus facilement mesurable, et ensuite c'est celui que l'on est disposé à gâcher le plus inconsidérément.

Cette étude du temps elle-même est très diverse.

Le temps peut agir d'abord comme un milieu vide qu'il faut utiliser le mieux possible. Les problèmes qui se posent alors sont du genre de celui-ci : comment peut-on faire en 10 minutes ce que d'autres font en 1/2 heure ?

Mais le temps est encore une cause agissante qu'on ne peut comprimer. Par exemple, pour changer l'état d'esprit de son personnel ou de ses clients, il faut tenir compte du rythme incompressible de leurs pensées, et les problèmes alors prennent un aspect nouveau : combien de mois ou d'années faut-il se donner avant de réaliser telle réforme ?

Enfin on peut rattacher au problème du temps celui des occasions. C'est dans les périodes de baisse qu'il faut, contrairement aux habitudes communes, faire ses stocks, et le problème qui se pose ainsi est celui de l'étude des crises.

De ces différents problèmes nous choisirons simplement le premier qui a donné lieu aux recherches les plus systématiques et qui se présente le plus fréquemment à la majorité des entreprises.

II. *L'instrument de mesure : le chronomètre.*

L'étude du temps ne peut être scientifique que si elle commence par une mesure du temps, et cette mesure elle-même suppose un appareil. C'est cet appareil que nous allons rapidement décrire avant toutes considérations relatives à son emploi.

Lorsqu'il s'agit de mesurer de longs gestes, n'importe quelle horloge suffit. Mais on a rarement à mesurer de longs gestes. Au contraire, l'étude du temps n'est vraiment utile que si on divise un geste complexe, par exemple le travail d'un ouvrier sur un tour, en gestes élémentaires ; c'est la condition en effet pour distinguer parmi ces gestes ceux qui sont utiles et ceux qui sont superflus, afin de conserver les premiers et de supprimer les autres. Force est donc d'avoir un instrument qui mesure des temps très brefs, par exemple des fractions de minute. Cet instrument se nomme le chronomètre.

Le plus simple est celui dont les médecins se servent. Il se compose d'une aiguille faisant le tour du cadran en une minute, et cette minute est divisée en 100 parties pour faciliter les additions ; c'est le centième de minute et non pas la seconde qui sera, dans notre science, l'unité fondamentale de temps. En outre, une fois que l'aiguille aura fait un tour complet, ou mieux pendant qu'elle fera ce tour, elle déclenchera sur un plus petit cadran une aiguille plus petite qui en fera le tour en 30 minutes ; il est bien rare que des opérations de chronométrage durent plus d'une demi-heure. Un perfectionnement rendra cet appareil tout à fait pratique : un bouton placé à la partie supérieure de la montre aura trois effets différents suivant le moment où on le pressera. Si l'aiguille des centièmes de minute est au repos, en pressant sur le bouton on la fait partir, en pressant une seconde fois on l'arrête, en pressant une troisième fois on la remet au zéro.

Cet appareil a suffi à Taylor. On peut cependant le perfectionner encore. Il n'est pas très commode en effet, lorsqu'il s'agit de chronométrer une série de gestes qui se suivent sans interruption ; c'est que, pour arrêter l'aiguille, la ramener au zéro et la remettre en mouvement, il ne faut pas moins de 2 centièmes de minute. On a donc construit un appareil à 3 chronomètres ; ces 3 chronomètres sont identiques et placés les uns à la suite des autres sur une planchette ; un même levier appuie simultanément sur leurs 3 boutons ; mais ils sont décalés d'une phase, c'est-à-dire que le premier est au zéro pendant que le deuxième est arrêté et que le troisième est en marche ; si donc on appuie sur le levier, le premier part, le second revient au zéro et le troisième est arrêté ; un nouveau coup de levier arrête le premier, fait partir le deuxième, remet le troisième au zéro, et ainsi de suite. On peut donc, par ce moyen, chronométrer une série de gestes qui se suivent sans intervalle. Généralement, on profite de cette planchette, un peu plus grande qu'un in-quarto et dont les chronomètres n'occupent que la partie supérieure, pour y fixer une feuille de papier sur laquelle on inscrit les résultats des chronométrages tels qu'ils sont lus sur les aiguilles arrêtées. La planchette elle-même peut, par une courroie, être suspendue au cou du chronométreur qui a la main gauche sur le levier et tient son crayon de la main droite ; il se déplace dans tous les endroits de l'atelier ou du bureau où il a quelque temps à mesurer.

Avec cet appareil, on peut sans peine lire et écrire des temps supérieurs à 2 ou 3 centièmes de minute ; pour des temps plus petits, la mesure devient plus difficile, malgré une méthode que Taylor a indiquée dans sa « Direction des ateliers » (n°s 374 et suivants, pages 113 et suivantes de la traduction française) ; nous n'entrerons pas dans ces détails, qui relèvent de la technique du chronométrage.

Contentons-nous de signaler un appareil plus sensible :

c'est le cylindre enregistreur de Desprez. Supposons par exemple qu'il s'agisse de chronométrer le travail d'une dactylographe, de manière à connaître à la fois l'intervalle entre 2 touches et le temps d'appui sur une touche ; on installe au-dessous de chaque touche une aiguille de métal qui, lorsqu'on presse sur cette touche, vient tremper dans un godet de mercure et fermer un courant électrique; le stylet du cylindre est en relations avec le circuit et, quand le cylindre tourne, on voit s'y inscrire une ligne brisée faite de traits parallèles raccordés par de petits traits perpendiculaires ; les traits parallèles supérieurs représentent les temps pendant lesquels les touches sont soulevées, les traits parallèles inférieurs les temps pendant lesquels elles sont abaissées. Ce procédé peut s'appliquer à bien d'autres appareils que les machines à écrire ; son approximation est de l'ordre d'une fraction de seconde.

Enfin on peut, dans certains cas, employer le cinéma. On fixerait aux doigts d'une opératrice dont on voudrait étudier les gestes un point brillant, une boule de métal par exemple. Le cinématographe, avec un ralentisseur, donne une approximation presque indéfinie. Par contre, il est d'un emploi coûteux.

Après l'appareil, l'opérateur. S'il y a un chronomètre, il y a aussi un chronométreur. C'est un métier qui, sans exiger un long apprentissage, ne s'improvise pourtant pas. Outre l'exercice, il exige des qualités techniques et des qualités morales. C'est ainsi que le chronométreur doit bien connaître le travail de l'ouvrier qu'il doit chronométrer ; il peut être, par exemple, un ancien contremaître de sa spécialité. Il doit, de plus, posséder ce que j'appellerai la technique spéciale du chronométrage : par exemple, il doit avoir une attention dispersée sur deux points, la main de l'ouvrier d'une part, sa planchette de l'autre, et il doit pouvoir suivre ce qui se passe en ces deux points sans se laisser distraire par d'autres objets extérieurs ou par sa propre pensée. Enfin, il doit avoir assez de franchise et

de tact pour mettre au courant de son travail des ouvriers généralement prévenus contre lui et pour le faire avec une discrétion et une bonhomie qui ne les détournent pas de leur besogne d'ouvriers. Ces qualités psychologiques une fois réunies chez un homme, il lui suffit de quelques semaines d'exercice pour devenir un chronométreur excellent.

Ces préliminaires posés, il nous reste à décrire la méthode de chronométrage proprement dite. Cette méthode comprend 3 parties que nous appellerons : chronométrage d'évaluation, standardisation, et chronométrage rigoureux.

III. *Chronométrage d'évaluation.*

Lorsque l'on veut perfectionner un geste d'un ouvrier ou d'un employé, la première opération consiste en une analyse de ce geste. Cette analyse est, en théorie, un simple travail d'observation, psychologique ou physique. En fait, on y sera aidé par le chronométrage, lequel d'ailleurs n'aura pas besoin d'être poussé à un haut degré de précision.

Un exemple fera comprendre notre pensée : supposons qu'il faille analyser la très simple besogne qui consiste à compter des cartes identiques et à les ranger par groupes de 20 ; pour faire cette opération le plus rapidement possible, il nous faut d'abord reconnaître les différents gestes élémentaires qui devront se succéder ; nous trouverons ainsi, dans une première analyse, les gestes suivants :

1° Prendre de la main gauche, dans une grande pile posée à gauche, un nombre de cartes largement supérieur à 20, et, sur le bord de la table, faire du paquet un rigoureux parallélipipède rectangle.

2° En se servant à la fois de la main gauche et de la main droite, « travailler » ce paquet 3 ou 4 fois de manière que le parallélipipède s'incline, chaque carte dépassant la précédente d'un demi-millimètre ou d'un millimètre.

3° Compter 20 cartes d'une des deux manières que nous décrirons au paragraphe suivant.

4° Saisir les 20 cartes ainsi comptées avec la main droite et les poser sur la table, à droite.

Voilà quatre gestes dont il faudra encore fixer nettement le début et la fin. On le fera à l'aide de repères aussi bien définis que possible. Ces repères seront, par exemple : 1° le début de la première opération : poser la main gauche sur le gros paquet ; 2° le début de la deuxième opération : de la main droite toucher le paquet ; 3° le début de la troisième opération : un des doigts touche une carte pour commencer à compter ; 4° le début de la quatrième opération : la main droite entière saisit le paquet de 20 cartes comptées.

Dans le précédent exemple, nous avons choisi des repères de débuts et des repères visuels. Mais on pourrait aussi bien mettre le repère à la fin du geste et le rendre auditif. Il y aurait même un double avantage à cette modification, toutes les fois qu'on pourrait la faire. En premier lieu, les fins d'opérations sont généralement mieux définies que les débuts ; en effet, une opération commence avec une certaine incertitude, parce qu'elle est précédée d'une délibération, si courte soit-elle, qui n'apparaît pas tout de suite sous forme de geste, et parceque ce geste lui-même commence avec une certaine lenteur, alors que la fin du mouvement se manifeste très souvent par un choc brusque et n'est accompagnée d'aucun concomitant psychologique. Ainsi, pour nous borner à l'exemple précédent, on peut remplacer le repère du début de la première opération par le repère de la fin de la quatrième, le moment où un paquet de 20 cartes est posé sur la table. D'autre part, il est avantageux pour le chronométreur d'employer des repères sonores ; si l'on chronométrait par exemple le travail d'une dactylographe, la première frappe d'une ligne ou le déplacement du chariot sont des repères tout indiqués ; dans ce cas,

le chronométreur peut conserver les yeux fixés sur son chronomètre et sur son papier, sans avoir à faire effort pour maintenir les doigts de la dactylographe dans le champ visuel.

Le chronomètre aide ainsi à analyser des mouvements, mais il est clair que les mouvements de l'âme échappent à cette méthode. Comment, par exemple, analyser avec elle les différentes opérations d'un vérificateur qui doit contrôler, à la simple lecture, l'existence d'une douzaine de signatures sur une feuille de présence? Il faut employer alors des procédés purement psychologiques.

Il est évident encore que, dans ces opérations, ce qui importe le plus, c'est la fixation des repères beaucoup plus qu'une mesure exacte des temps compris entre eux. Si nous avons lié cette analyse au chronométrage proprement dit, c'est pour deux raisons. D'abord le vrai chronométrage, dont nous parlerons tout à l'heure, exige qu'on ait fixé les repères d'avance ; ensuite un chronométrage préalable, si grossier soit-il, nous montrera jusqu'où il faut pousser l'analyse. Si nous nous apercevions, par exemple, que 3 ou 4 repères consécutifs, qui nous avaient, à première vue, paru excellents, sont trop rapprochés pour contenir des temps accessibles à la mesure, nous serions forcés de réunir deux ou trois temps élémentaires en un seul en faisant sauter les repères intermédiaires, et inversement, si un geste nous avait d'abord paru, ou nous paraissait, après plusieurs mesures, trop long et surtout trop variable, nous le décomposerions en gestes plus élémentaires, en intercalant des repères nouveaux que nous nous ingénierions à trouver.

Ces préliminaires achevés, nous ne chronométrerons pas davantage et nous nous livrerons à une seconde besogne, la plus importante de toutes. En effet, avant de mesurer la durée d'une opération, il faut en avoir fixé le mécanisme de manière qu'il soit le plus économique possible en temps, en gestes ou en pensée. Il faut, en un mot, l'avoir standardisé.

IV. *Standardisation.*

Le mot « standardiser » exige à son tour une définition, car il est pris dans deux sens très différents.

Voici d'abord le sens primitif, quoique peut-être le moins courant. Un appareil est dit « standard » quand il est le meilleur ; un geste est dit « standard » quand il est le meilleur. Ainsi, le clavier universel des machines à écrire a été étudié, au moins dans le cas de la langue anglaise, de manière que les lettres les plus usuelles soient dans les parties du clavier les plus accessibles ; de même, le doigté qu'un musicien joint parfois à son texte permet les mouvements les plus faciles. Voilà un appareil ou une opération « standard ».

Mais de cette première définition dérive aussitôt une seconde. Si un outil ou un geste sont les meilleurs possible, il y a intérêt à les rendre en quelque sorte obligatoires. Une fois trouvé le meilleur format de papier commercial, tous les fabricants de papier s'y conforment ; une fois trouvée la meilleure forme de boulon, on ne construit plus que des boulons de ce type. Dans ce cas « standardisé » veut dire uniforme. C'est le sens le plus connu du mot.

Entre les deux sens existe un lien naturel ; en effet, si l'on a trouvé la forme « standard » dans le premier sens, c'est-à-dire la forme la meilleure, il y a intérêt à ce que tout le monde l'adopte. L'uniformisation d'un clavier incommode, d'une mauvaise forme de douilles de lampes électriques, d'un écartement trop coûteux de rails de chemin de fer a peut-être l'avantage de permettre l'établissement facile de pièces de rechange, mais il a par contre le vice capital d'engager tout le monde sur une mauvaise voie, d'où l'on sortira d'autant plus difficilement qu'il faudra renoncer à une habitude universelle.

Comment donc va-t-on établir l'appareil ou le mouvement « standard » ? C'est là le rôle des bureaux d'études.

Rôle de premier plan, qui doit être tenu par des ingénieurs de premier ordre et peut exiger de longs mois pour des opérations assez simples. Gilbreth a mis plusieurs années à standardiser le geste du poseur de briques. D'ailleurs, la standardisation, c'est toute la science du travail, et nous voulons ici nous borner à l'étude des temps. Nous nous contenterons donc de donner une idée très grossière du problème, dans le cas particulier du deuxième des mouvements élémentaires de l'exemple précédent : compter vingt cartes.

Une distinction fondamentale s'impose d'abord. Tantôt les cartes à compter sont des imprimés sans valeur, et il s'agit simplement de s'assurer que les paquets dits de 500 qu'on vient de recevoir de l'imprimerie ne sont pas en réalité des paquets de 480. Dans ce cas, on peut se contenter de la balance, ou, à défaut, compter exactement 50 cartes et faire la mesure du reste en comparant l'épaisseur de 50 cartes et l'épaisseur d'un plus gros paquet. Tantôt au contraire chaque carte a sa valeur et on ne saurait faire une erreur, même d'une unité ; c'est ce dernier cas dont nous allons dire quelques mots.

Après des essais dont nous ne donnons pas de détails, il semble que nous puissions nous arrêter à l'un ou l'autre des deux procédés suivants.

Dans le premier, le paquet initial aura la forme d'un parallélipipède incliné dans le sens de la plus grande dimension et serré dans la main gauche, le plan des cartes étant horizontal et les cartes supérieures débordant vers la droite ; dès lors c'est la main droite qui servira à compter ; l'index soulèvera légèrement le bord droit de la carte supérieure pendant que l'on comptera un ; le médium fera de même pour la carte immédiatement au-dessous pendant qu'on comptera 2 ; l'index reviendra à la 3e carte, le médium à la 4e, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'on ait compté les 20 cartes, qu'on détachera du paquet entre le pouce et l'index de la main droite.

Un second procédé consiste à disposer le paquet exactement de la même façon ; on tord alors légèrement le paquet entre les deux mains de manière que le plus grand côté de chaque carte s'incurve, la concavité en dessous ; on fait glisser doucement le pouce gauche le long des bords gauches de chaque carte ; la partie gauche de la carte supérieure se détache par son élasticité, pendant que l'on compte un ; la carte immédiatement inférieure fait aussitôt de même pendant que l'on compte 2, puis la troisième, et ainsi de suite jusqu'à 20 ; alors, poussant légèrement le pouce à l'intérieur du paquet entre la 20e et la 21e carte, on n'a pas de peine à séparer avec la main droite les 20 cartes supérieures.

Reste à choisir entre les deux procédés. Le chronométrage d'évaluation nous y aide. Il prouve que la deuxième manière est au moins deux fois plus rapide que la première. Cette raison ne suffit cependant pas pour la préférer. Il faut encore tenir compte d'un élément de sécurité. Si cette sécurité a besoin d'être absolue, si les cartes sont trop minces et si leurs bords ne sont pas admirablement dressés, c'est le premier procédé qu'il faut employer, malgré sa lenteur relative. Dans le cas contraire, on choisira le second, dont d'ailleurs on pourra régler la vitesse en vue d'une sécurité plus grande.

Nous avons voulu entrer ici dans des détails minutieux que certains pourront regarder comme un peu puérils. Ils sont peut-être superflus dans un cas aussi simple que celui que nous avons pris pour exemple. Néanmoins c'est cette méthode rigoureuse qui, appliquée à des opérations qui se reproduisent des milliers ou des millions de fois, permet de faire les économies de prix de revient faute desquelles les concurrents seraient souvent irrésistibles.

V. *Chronométrage définitif.*

Une fois le geste standardisé, reste à en connaître la durée. C'est ici que le chronométrage doit jouer avec toute la précision dont il est capable.

Pour cela on fera des épreuves avec de « bons ouvriers moyens ». Pour avoir le résultat le plus général possible, on pourra prendre 2, 3, 4 ouvriers, et sur chacun faire une série de mesures : chaque série peut comprendre 50, 100, 150 chronométrages. On les multiplie, par séries de 10 mesures par exemple, jusqu'à ce qu'on trouve qu'une nouvelle série ne modifie pas sensiblement le résultat des premières. Les résultats sont inscrits sur une feuille de papier qui contient essentiellement autant de lignes horizontales qu'il y a d'opérations élémentaires marquées par leurs repères initiaux ou terminaux, et un nombre de colonnes verticales égal à 10, 15 ou 20, correspondant chacun à un chronométrage. A droite, d'autres colonnes verticales sont destinées à noter des résultats de calculs comme le temps moyen. La feuille devra, en outre, porter, avec les noms du chronométreur et du chronométré, différentes indications qu'on ne saurait trop détailler, relatives à l'heure de la journée, à l'état de l'atmosphère et à tout ce qui peut influer sur la durée du travail.

Cela fait, reste à calculer le temps que l'on allouera à l'ouvrier pour la besogne qu'on étudie. Pour cela, on commencera par éliminer les temps erratiques ; nous entendons par là des temps exagérément courts ou exagérément longs, ces derniers étant d'ailleurs beucoup plus nombreux et beaucoup plus écartés de la moyenne que les premiers. Quelquefois la cause de l'erreur apparaît : par exemple, l'ouvrier s'est mouché pendants on travail, ou il y a eu un accident à son tour, ou, si c'est une dactylographe, elle a dû déchiffrer à grand'peine un mot étranger. Mais bien souvent cette cause est inconnue. On induit son existence de l'anomalie du chronométrage.

Restent donc des chiffres différents les uns des autres et groupés entre deux limites qui ne sont pas trop éloignées. Quel chiffre de base adopter alors ? On pourrait songer à prendre la moyenne. Quelques auteurs, notamment M. Bertrand Thompson, ont proposé un autre nombre. On range tous les chiffres par ordre croissant et on les divise en trois groupes ; c'est le chiffre le plus faible du second groupe que l'on choisit. L'expérience prouve généralement que le bon ouvrier moyen peut sans peine s'y tenir. C'est lui qu'on appelle le minimum standard.

Cependant, pour éviter le surmenage, on accorde une tolérance de 5, 10, 20, 30 %. Elle est plus faible s'il s'agit de besognes mécaniques où l'imprévu est plus réduit, plus forte quand il s'agit d'opérations qui se font uniquement à la main et dont la durée peut être plus facilement troublée.

Le chronométrage d'étude est alors terminé. Des fiches d'instructions sont données aux ouvriers ; elles comprennent la description des opérations standardisées qu'ils doivent accomplir pour remplir leur tâche le mieux possible, avec l'indication du temps qui leur est alloué et qui est le minimum standard augmenté de la tolérance que nous venons de fixer.

VI. *Du rôle de la standardisation et du chronométrage dans la fixation des salaires et dans certains rapports des ouvriers et des patrons.*

Il est temps à présent de tirer de ces indications techniques des conclusions plus générales. La première concerne la fixation des salaires. On sait l'échec lamentable, mais singulièrement instructif, du salaire aux pièces. Il y a 10 ou 20 ans, la plupart des patrons, comme des économistes, le vantaient comme constituant le meilleur excitant et le contrôle le plus automatique du travail d'un ouvrier. Malheureusement, le salaire aux pièces,

pour être équitable et par conséquent accepté, supposait que les prix unitaires étaient rigoureusement invariables. Or ils ne pouvaient pas l'être, tant qu'on n'avait pas standardisé scientifiquement le travail, fixé au petit bonheur par un contremaître. Ce système avait rapidement amené, suivant la qualité des ouvriers et même la nature des besognes, des différences de salaires considérables et imprévues. Dans telle industrie, où la moyenne des salaires journaliers était 10 francs, tel excellent ouvrier n'avait gagné que 12 francs, tel ouvrier médiocre dépassait la vingtaine. Force était de remanier les prix de base. On le faisait de manière à uniformiser et à ne pas exagérer les salaires. Dans tous les cas, et quel qu'en fût le motif, il y avait une sorte de rupture du contrat de travail et une véritable négation du salaire aux pièces. Les ouvriers s'en aperçurent vite, et ralentirent partout leur production pour forcer le patron à augmenter ses taux de base ; on rompait le contrat en sens inverse, et, dans cette lutte dont on voyait mal l'issue, le salaire aux pièces était complètement discrédité.

Plus récemment, on a proposé d'autres modes de rémunération. On les nomme salaires avec primes. On connaît les primes de Halsey ou de Rowan. Le principe consiste à donner un minimum de salaire en échange d'un minimum de travail en quantité et en qualité, minimum auquel, en cas de production plus grande, on ajoute une prime dont la formule ne nous importe pas en ce moment. Néanmoins, le mot « prime », ou son aspect mathématique, a fait illusion à beaucoup. Ce qui importe en cette question, ce n'est pas la formule du salaire, mais les expériences sur lesquelles on l'appuie. Ces expériences sont précisément celles qui aboutissent à standardiser et à chronométrer, et il est clair qu'elles supporteraient tout aussi bien le salaire aux pièces que le salaire à primes. En effet, lorsqu'on a standardisé et chronométré un travail, l'ouvrier connaît la meilleure manière de le faire et

on connaît le temps qu'on peut exiger de lui. Si, par surcroît, le chronométrage a été rendu public, ce temps est tacitement admis par tout l'atelier. Il permet donc de fixer un salaire de base et il y a bien peu de chances que l'ouvrier improvise une standardisation nouvelle qui lui amène des profits exagérés. Dès lors, la standardisation et le chronométrage deviennent une sorte de charte, posée une fois pour toutes entre l'employeur et l'employé, et dont l'équité dépend de son caractère scientifique.

Le chronométrage, à la condition qu'il ne vienne qu'à la suite d'une standardisation, est de plus en plus accepté, désiré même, par beaucoup de syndicats ouvriers. Si le chronométrage a eu, il y a quelque temps, une très mauvaise presse dans les milieux syndicalistes, c'est qu'on le caricaturait de la façon la plus sotte et la plus odieuse ; d'abord on ne le faisait pas précéder de standardisation, mais on laissait chaque ouvrier inventer des méthodes qui auraient dû être établies par un bureau d'études ; ensuite on chronométrait, non des ouvriers moyens, mais des ouvriers d'élite ; enfin on était parfaitement décidé à diminuer les prix de base, si ces sortes de coups de cravache obtenaient un meilleur rendement. Cette méthode — est-il besoin de le prouver? — était presque exactement le contraire de la méthode scientifique que nous venons de décrire, et les ouvriers n'avaient point tort de dire qu'elle n'était, en somme, que l'organisation du surmenage.

Mais si les ouvriers acceptent un chronométrage et une standardisation fondés sur l'expérience, c'est un certain nombre de patrons qui se refusent à l'appliquer ; ces patrons, beaucoup plus capitalistes qu'industriels, trouvent en effet plus commode de laisser l'ouvrier deviner lui-même les gestes les plus utiles que à monter, avec quelques dépenses d'argent et de grosses dépenses d'intelli-

gence, ces bureaux d'études dont l'institution est cependant leur besogne propre.

Il faut espérer, néanmoins, que cet état d'esprit patronal disparaîtra comme l'état d'esprit ouvrier que nous rappelions auparavant, et qu'en ces matières c'est la science qui s'imposera, amenant avec elle, dans les rapports des employeurs et des employés, une justice qui contribuera dans une très large mesure à l'accroissement de la production.

JOSEPH WILBOIS,
Directeur de l'École d'Administration et d'Affaires.

VARIÉTÉS

I

ANCIENNE MÉDECINE ARABE *(Suite.)* (1)

Le milieu historique, sommairement évoqué dans les pages qu'on vient de lire, prêtera, croyons-nous, une saveur plus précise aux quelques épisodes et traits de mœurs qu'il nous reste à grouper pour achever notre esquisse de l'ancienne médecine arabe.

Hygiène générale.

Nous avons dit que le Prophète ne dédaignait pas d'enseigner les rudiments de l'hygiène et de la thérapeutique. Nous retrouvons cette préoccupation de l'hygiène physique dans plusieurs de ces Manuels orientaux de religion, de morale et de savoir-vivre, si pittoresques avec leur entrelacement perpétuel de préceptes, d'exhortations, d'historiettes tristes ou joyeuses et de jolis vers.

Voici, par exemple, une leçon de frugalité, extraite du *Gulistan* ou « Jardin des roses », de *Sa'di* (1193-1291), petit livre encore usité dans les écoles persanes :

« Il est écrit aux Annales d'Ardeshir Babekan, que ce souverain demanda à un médecin arabe quelle quantité de nourriture il était convenable de prendre chaque jour. La réponse fut : Le poids d'une centaine de dirhems suffit. — Mais, reprend le roi, quelle vigueur cette quantité-là va-t-elle me donner ? Le médecin répliqua : Cette quantité te portera ; mais tout ce que tu prendrais en plus, c'est toi qui devrais le porter.

(1) Voir Rev. Qu. Sc., avril 1922, pages 403-419.

« *Mange pour vivre, en redisant tes prières ;*
Et ne crois point que la vie soit donnée pour manger » (1).

Feuilletons pareillement le classique « Livre des conseils » *(Pend-Nameh)* de *Ferid ed-Dîn Attar* († 1230), auquel les Musulmans d'Asie reconnaissent aujourd'hui encore tant d'autorité. Je cite dans la traduction de Sylvestre de Sacy. Le chapitre XIII est intitulé : « Des causes d'une bonne santé ». « Si tu désires, mon ami, jouir d'une santé parfaite, quatre choses pourront te la procurer. L'abondance des choses nécessaires à la vie, puis l'exemption de toute crainte, sont des gages certains d'une bonne santé. Si, au calme d'une âme que rien ne trouble, tu joins la vigueur du tempérament, tu n'auras plus rien à désirer de tous les biens de cette vie. Abstiens-toi, autant que tu le pourras, de te prêter aux désirs de ton âme... Écrase et foule aux pieds les penchants de ton cœur.... Traite rudement ton âme... ; éloigne-la, autant que tu le pourras, de tout ce qui est souillé... Ne te remplis point sans mesure d'aliments et de boisson, ne t'assimile point aux animaux qui habitent les étables. Lors même que tu ne jeûnes point, prends peu de nourriture pendant le jour et ne mange point jusqu'à la satiété... O toi qui consacres au sommeil toute la durée de la nuit jusqu'au lever du jour, songe à allumer un flambeau qui t'éclaire dans les ténèbres du tombeau. Manger et dormir est une occupation digne seulement des animaux » (2).

En prenant, dans ma bibliothèque, le *Pend-Nameh*, pour transcrire ces graves conseils, j'entraînai du même geste les *Quatrains* de l'énigmatique *Omar Khayyam* († vers 1123), le poète de l'épicurisme tragique et de la bouffonnerie douloureuse. Le contraste avec la sagesse prolixe d'Attar est si complet que je ne résiste pas au plaisir de citer quelques vers.

Adieu la frugalité !

Bois du vin... C'est lui la vie éternelle,
C'est le trésor qui t'est resté de tes jours de jeunesse :
Saison des roses et du vin, et des compagnons ivres !
Sois heureux un instant, cet instant c'est ta vie. (XXXVI)

(1) L. Cranmer-Byng, *The Rose-Garden of Sa'di*. London, 1910, p. 39.

(2) *Pend-Nameh, ou le Livre des Conseils, de Férid-eddin Attar.* Traduit et publié par Sylvestre de Sacy. Paris, 1819, pp. 42-43.

La vie passe, mystérieuse caravane,
Dérobe-lui sa minute de joie !
Porte-coupe !... Verse du vin... la nuit s'écoule... (LX)

Quand je mourrai, lave-moi avec du vin
Et fais avec du bois de vigne les planches de mon cercueil.
(LXIX) (1)

Après une pareille boutade, on ne s'étonnerait pas de voir Omar décocher contre la Faculté quelque flèche barbelée : j'avoue n'avoir rien trouvé de ce genre dans les *Quatrains*, mais aussi n'avoir fait qu'une battue assez sommaire.

Revenons vite à une hygiène moins extravagante. Si les prudents conseils qui vont suivre évoquent le fâcheux souvenir de quelque « réclame » prudhommesque et « pharmaceutique », de grâce, n'accusons pas l'honnête Attar d'avoir plagié la quatrième page des journaux :

« Quatre choses sont d'une grande importance et dignes d'attention, quoiqu'elles semblent faibles et petites : un ennemi, le feu, une indisposition qui produit un malaise, la science enfin, qui est l'ornement de l'homme... Ne néglige point une légère incommodité, travaille à y apporter remède : autrement elle acquerra des forces, et tu te verras dans l'impuissance de la guérir. Si l'on ne travaille pas à guérir un léger mal de tête, dans son commencement, il est à craindre que le tempérament ne finisse par s'altérer » (2).

Et, ajouterons-nous, si tu crois devoir confier ta santé à un homme de l'art, médite cette brève admonestation que t'adresse, au nom de ce dernier, un médecin persan anonyme : « Sache bien que moi, et toi, et la maladie, sommes trois facteurs antagonistes. Si tu veux te mettre de mon côté, ne négligeant rien de que ce je t'enjoindrai, et t'abstenant de tout aliment que je prohiberai, alors étant deux contre un, nous terrasserons ton mal » (Cf. Browne, 78).

Qui serait friand de plus de détails sur l'ancienne conception arabe de l'hygiène, trouverait, dans le *Canon* d'Avicenne, de longs passages traitant de l'exercice corporel et des sports,

(1) *Les Quatrains d'Omar Khayyam*. Trad. de Ch. Grolleau. Paris, 1902, pp. 65, 77, 81.
(2) Traduction citée, p. 104.

de la nourriture, du sommeil, des bains et de l'hydrothérapie, du massage, du soin des cheveux et de la peau, etc.

Hôpitaux et maisons de santé.

Lorsqu'un « bon musulman » tombait sérieusement malade, il pouvait être reçu dans les hôpitaux dont étaient munies les principales villes. C'étaient souvent des établissements considérables. Par exemple, le plus important des anciens hôpitaux du Caire, fondé en 1284, disposait d'un budget annuel d'environ un million de dirhems (=approximativement la même valeur en francs). Il était ouvert à tout malade, riche ou pauvre, de l'un ou de l'autre sexe. Le personnel inférieur — gardes et infirmiers — était également recruté dans les deux sexes. Il y avait des départements isolés (sinon des pavillons séparés) pour les cas de fièvre, pour les cas d'ophthalmie, pour la chirurgie, pour les malades atteints de dysenterie et d'affections bénignes. L'organisation matérielle comprenait, en outre, des cuisines, des salles de lecture, des magasins où l'on conservait les médicaments et les appareils, un dispensaire, des pièces à l'usage du personnel médical. (Browne, 102). Un peu avant cette époque, les lettres de *Raschid* nous apprennent ce que fut le grand hôpital de Tabriz, avec ses 50 médecins renommés, assistés chacun de 10 internes choisis parmi les étudiants ; sans compter les spécialistes : chirurgiens, oculistes et rebouteurs, ayant chacun 5 étudiants sous leurs ordres.

Dans tous ces hôpitaux, une section, ou du moins un certain nombre de cellules, étaient réservées pour les aliénés. On rencontre, dans la littérature ascético-morale musulmane, pas mal d'histoires d'aliénés. Au sujet de ceux-ci se posaient parfois des cas de conscience troublants. Car, en Islam comme chez les Anciens, la folie gardait un caractère mystérieux : on ne savait trop, devant certaines excentricités, si l'on avait affaire à une simple maladie, ou bien à une touche exceptionnelle de la Divinité, qui n'est point astreinte à respecter nos convenances. Aussi y eut-il des fous qui passèrent pour sages, mais aussi des sages, des « soufis inspirés du ciel » qui passèrent pour fous et se firent colloquer. Ces derniers purent s'écrier, avec le poète mystique, *Djélal ed-Dîn Roumi :* « Me voilà redevenu fou, ô médecin. Me voilà redevenu fou

(d'amour divin), ô ami... Ma folie a tellement perdu toute mesure, qu'il n'est pas un fou (un sage de ce monde) qui ne croie devoir m'offrir ses conseils » (1).

— « Un quidam disait : J'ai besoin d'un homme intelligent pour le consulter sur une difficulté.

Quelqu'un lui répondit : Dans notre ville, nul n'est vraiment intelligent, sauf un certain homme qui feint d'être fou.

Vois-tu, là-bas, quelqu'un qui chevauche sur une canne, au milieu d'une troupe d'enfants ?

C'est un homme de jugement sûr et d'esprit pénétrant ; grand comme le firmament, brillant comme les étoiles.

Sa splendeur reflète la vie même des chérubins, Mais il demeure caché sous le voile de cette prétendue folie » (2).

Folie feinte, dans ce cas ? Soit ; cependant *Djélal* fait sagement d'ajouter :

« Ne va pas croire, maintenant, que tout insensé soit une âme (supérieure) » (3).

Voulez-vous entendre l'aventure de *Zou'n Noun*, l'Égyptien — un *cheikh* soufi de grande réputation († 860) ? Je laisse au lecteur de poser le diagnostic et d'apprécier la légalité de l'internement :

— « Une nouvelle attaque de troubles mentaux et de vésanie saisit *Zou'n Noun*.

Sa folie devint si grande, qu'elle provoqua de l'affliction jusque par-dessus les cieux....

La populace ne put supporter sa conduite étrange ; son feu intérieur offusquait leur religion formaliste ;

... ils l'enchaînèrent et le jetèrent en prison.

... Ses amis vinrent alors à la prison pour s'occuper de sa cause ; et ils faisaient conjecture sur son cas :

Peut-être, disaient-ils, agit-il ainsi par dessein, et y a-t-il quelque raison mystérieuse de sa conduite ; car, dans notre religion, il est un « qibla » (homme privilégié, centre de vie religieuse) et une testification miraculeuse (de Dieu)...

A Dieu ne plaise, qu'en une situation si élevée le nuage de la folie ait éclipsé la lune (de son intelligence) !

(1) *Masnavî*, by Jalalu'd-Dîn Rûmî. Book II. Translated by C. E. Wilson. Vol. I. London, 1910, p. 121.

(2) *Masnavî*, etc... p. 203.

(3) *Ibid.*

... Dès qu'ils approchèrent de lui, il se mit à crier : Holà ! qui êtes-vous ? prenez garde !

Ils répondirent courtoisement : Nous, tes amis, nous sommes venus pour nous enquérir, cordialement, de ta santé.

Comment te portes-tu, ô Océan d'intelligence variée ?...

O Lune, ne cache point ta face derrière un nuage de mystère !

... *Zou'n Noun*, alors, de proférer à tort et à travers, toutes sortes d'expressions grossières et blessantes ; comme un insensé, il prononçait des paroles dénuées de signification.

Puis soudain, sautant sur ses pieds, il lança (vers ses amis) une volée de pierres et de bâtons. Tous s'enfuirent, par peur des coups.

Lui, alors, éclata de rire, et secoua la tête avec mépris... Voilà bien des amis, disait-il ! Quel signe d'amitié montrent-ils ? Aux amis véritables, la peine supportée (par amitié) est la vie même.

Un ami doit-il fuir la peine que lui inflige son ami ? » (1)

Formation médicale.

Laissons à son embarras le médecin qui fut sans doute appelé à se prononcer sur les exercices balistiques de *Zou'n Noun*. Était-ce un médecin autorisé, possédant ses parchemins, ou bien un empirique d'occasion ? La question peut être posée. Car, à certains moments, dans l'empire arabe, l'exercice de la médecine fut réglementé par les pouvoirs publics. A la suite d'une bévue d'un guérisseur ignorant, le calife *al Mouqtadir* prescrivit, en 931, du moins pour la région de Bagdad, un examen préalable. Les médecins déjà établis furent invités, à l'exception d'un petit nombre de praticiens d'une compétence connue, à subir devant le médecin de la Cour, une épreuve d'où dépendait pour eux la licence de pratiquer.

A vrai dire, cet examen ne dut pas être bien terrible, comme le montre l'amusant récit que nous transcrivons ci-après.

Parmi les candidats qui se présentèrent devant *Sinân*, le médecin délégué par le calife, se trouvait un homme âgé,

(1) *Masnavî*, etc..., pp. 121 à 128.

bien mis, et d'extérieur digne. Sur cette apparence, l'examinateur le traitait avec une spéciale considération et lui faisait, en aparté, force remarques touchant les divers cas qui défilaient. Une fois les autres candidats congédiés, *Sinân* dit, avec urbanité, au vieil homme : « J'aimerais entendre de la bouche du respectable *cheïkh* (professeur) quelque parole qui me fasse souvenir de lui ; et je souhaiterais aussi apprendre le nom du maître qui lui enseigna la médecine ». Là-dessus, le vieux madré dépose devant *Sinân* un sac d'argent, et répond timidement : « Je ne sais pas très bien lire ni écrire, et je n'ai fait aucune étude régulière ; mais j'ai une famille à nourrir par mon labeur professionnel, lequel je vous prie humblement de ne pas interrompre ». *Sinân* repartit en riant : « Soit ; mais à condition que vous ne traiterez aucun malade par des remèdes auxquels vous n'entendez rien, et que vous ne prescrirez pas de saignée ni de purgatifs sinon dans des malaises bénins ». — « Telle a été la pratique de toute ma vie, réplique le vieillard : je ne me suis jamais aventuré au delà de l'oxymel et du jalap ». A la séance du lendemain, *Sinân* remarque, parmi les candidats, un jeune homme bien habillé, de mine agréable et intelligente : « Chez qui avez-vous fait vos études ? » — « Chez mon père ». — « Et qui est votre père ? » — « Le vieux médecin que vous vîtes hier ». — « Ah ! un charmant vieillard, en effet. Et vous suivez ses méthodes? Oui ? Parfait ; veillez seulement à ne pas vous risquer plus loin que lui » (1).

Les aspirants-médecins, lorsqu'ils recevaient une formation régulière, passaient par l'internat dans les hôpitaux. Puissent-ils avoir suivi les précieux conseils que leur adresse *Haly Abbas*, qui était convaincu, autant que *Rhazes*, de la nécessité d'une sérieuse expérience clinique. « Parmi les devoirs de l'étudiant qui veut s'adonner à son art, il faut mentionner la fréquentation ordinaire des hôpitaux et maisons de santé. Là, dans la compagnie des professeurs de médecine les plus perspicaces, il accordera une attention incessante à tout ce qui concerne les hospitalisés ; il s'enquerra fréquemment de leur état, notera les symptômes successifs qu'ils présentent, se rappelant ce qu'il a lu sur

(1) *Al Qifti*, « Histoire des Philosophes ». Cité par Browne, p. 41.

ces variations elles-mêmes et sur ce qu'elles révèlent de bon et de fâcheux. Ce faisant, il atteindra un degré éminent de perfection dans l'art médical » (1).

Déontologie médicale.

Ce « degré éminent » dans l'art médical, noble stimulant du zèle estudiantin, n'allait pas, du reste, sans quelques avantages moins immatériels.

Prenons un cas extrême, le cas d'un médecin de la Cour califale. Ce personnage fortuné recevait, sur les fonds publics, un traitement mensuel de 10 000 dirhems, puis encore, au début de chaque année, 50 000 dirhems sur la cassette privée du souverain, sans compter un don de vêtements d'une valeur de 10 000 dirhems. Pour saigner le calife *Haroun al Rachid* deux fois par an, il se voyait gratifié de 100 000 dirhems, et il en encaissait autant, chaque année, pour administrer à son royal client un purgatif semestriel. Ce n'est pas tout : les nobles de la Cour lui versaient, bon an mal an, 400 000 dirhems, et la grande famille des *Barmécide* lui faisait des appointements de 1 400 000 dirhems.

D'après l'historien *al Qifti*, le total des honoraires qu'il reçut des gens de Cour, abstraction faite des clients de moindre plumage, pendant les 23 ans qu'il fut au service d'*Haroun al Rachid* et les 13 ans qu'il soignales *Barmécide*, monte à 88 800 000 dirhems, ce qui équivaut sensiblement, dit M. Browne (p 57), s'appuyant sur Kremer (2), à la même somme en francs. Beaucoup de praticiens, et des plus renommés, se contenteraient aujourd'hui des miettes d'un pareil festin.

Ces médecins de princes ne furent pas toujours des courtisans complaisants et des consciences vendues. Sous les premiers Abbassides, le médecin et traducteur arabe *Honayn ibn Ishaq*, dont nous avons parlé plus haut, attira l'attention du calife régnant. Celui-ci, toutefois, avant de lui donner sa confiance, voulut mettre à l'épreuve son honneur professionnel. Il lui ordonna — ordre dont le sérieux n'était alors que trop vraisemblable — de préparer, pour un de ses

(1) *Liber regius*. Cité par Browne, p. 56.
(2) Kremer, *Kulturgeschichte des Orients*. Wien. I Bd., p. 15.

ennemis, un poison mortel, ne laissant à *Honayn* qu'une alternative : ou d'obéir et de recevoir une riche récompense, ou de refuser et de subir la prison, peut-être même la mort. Le médecin refusa ; incarcéré durant une année entière, il comparut de nouveau devant le calife, qui répéta sa proposition : l'obéissance et la richesse, ou le glaive de l'exécuteur. « J'ai déjà déclaré au Commandeur des Croyants, répondit *Honayn*, que je n'ai d'habileté professionnelle que pour faire du bien, et que je ne m'appliquai jamais à autre chose. » Et comme on le menaçait de mort immédiate s'il ne cédait : « J'ai un Seigneur, dit-il, qui me fera justice demain, au jour de la suprême résurrection. Si le calife veut ruiner sa propre âme, c'est son affaire ». Le calife, cette fois, sourit, et déclara que tout ceci n'était que feinte pour s'assurer de la probité du médecin.

Il paraît que, dans ces cours orientales, des aventures de ce genre n'eurent pas toujours un dénouement aussi heureux. On entrevoit là une justification des gros honoraires : prix de la complaisance ou prime au risque.

Du reste, s'il faut mesurer le salaire aux qualités exigées des salariés, les services d'un bon médecin, dans l'empire arabe, ne pouvaient être achetés au rabais. D'après *Nizami* (Samarqand, vers 1155), « le médecin doit être de disposition compatissante ; d'un naturel sage et doux ; plus spécialement encore, il doit être un observateur aigu, capable de faire bénéficier chacun d'un diagnostic pénétrant, par déduction prompte du connu à l'inconnu. Mais nul médecin ne saurait être de disposition compatissante, s'il n'a appris à connaître la noblesse de l'homme ; et il n'aura pas non plus l'esprit philosophique (nécessaire pour ses déductions), s'il n'est rompu à la logique ; il ne sera pas davantage un observateur perspicace, s'il ne s'appuie sur la conduite de Dieu qui le guide ; or, celui qui n'a pas ce coup d'œil pénétrant n'arrivera jamais à saisir correctement la cause d'aucune maladie » (cité par Browne, p. 80).

On conçoit que des médecins ayant une haute idée de leur profession, formés d'ailleurs par des maîtres expérimentés et selon les bonnes méthodes classiques, aient mis parfois un peu d'amour-propre à constater leur supériorité.

Les croisades fournirent à plus d'une reprise l'occasion

de ces comparaisons, qui ne furent pas toutes à l'honneur des médecins « francs » (c'est-à-dire « occidentaux » en général, ou « chrétiens », et non pas, spécialement, « français »).

Un jour, durant une courte trêve entre Sarrasins et Croisés, un médecin oriental (d'ailleurs chrétien), *Thabit*, au service d'un émir des environs du Liban, fut appelé auprès de deux malades de l'armée croisée, dont l'un souffrait d'un abcès à la jambe, et l'autre — une femme — périssait de consomption. Le traitement amena une notable amélioration des deux cas, et l'issue semblait devoir être favorable, quand survient un médecin « franc », qui déclare le traitement commencé parfaitement inutile. Avisant l'homme à la jambe malade, il lui donne le choix, ou de mourir avec ses deux jambes, ou de vivre en s'en laissant amputer une. (Déjà la rivalité des médecins et des chirurgiens !) Le patient préféra l'amputation. Aussitôt dit, aussitôt fait. Un homme d'armes, qui était là portant une hache, reçoit l'ordre de trancher la jambe d'un seul coup. Il essaya sans y réussir, et au second coup de hache, qui broya le fémur et en arracha la moelle, la victime expira. Le docteur « franc », avec la sérénité du devoir accompli, se tourne alors vers la femme, l'examine, et déclare qu'elle est possédée par un démon qui siège dans sa tête. Lui ayant fait raser les cheveux, sans doute pour contrarier le diable, il impose à cette malade épuisée le régime alimentaire grossier des soudards vigoureux. Et comme le mal empirait, il ne trouve finalement rien de mieux que de pratiquer, sur le crâne de la malheureuse, une incision profonde, en forme de croix, mettant l'os à nu ; tandis qu'il était en train de frictionner la plaie vive avec du sel, la patiente expira. « Alors, conclut *Thabit*, je demandai si l'on avait encore besoin de mes services ; sur réponse négative, je m'en retournai chez moi, ayant appris beaucoup de nouveau au sujet de *leurs* pratiques (des médecins d'Occident). » (Cité par Browne, p. 71.)

Les médecins « francs » ont pris, depuis, leur revanche — une noble revanche — tout particulièrement dans cette Syrie, où leurs lointains devanciers avaient laissé une réputation si fâcheuse.

Anecdotes médicales.

Les Orientaux, Arabes et Persans surtout, affectionnent

les recueils — vaguement historiques — d'anecdotes étranges mêlées d'historiettes piquantes. Dans ces collections instructives et divertissantes, la médecine et les médecins ne sont pas oubliés. Souvent, il faut l'avouer, ces petits contes médicaux, qui mettent en scène des célébrités comme Rhazes ou Avicenne, ont un côté burlesque, populaire : de la médecine pour Guignol.

Un exemple : Rhazes reçoit en consultation un jeune gars atteint d'hématémèse. Le médecin branle la tête, ne devinant pas la cause du mal et fait mine d'abandonner le cas. Aussitôt, le jeune homme se précipite à ses genoux et le supplie d'essayer quelque remède. Rhazes se laisse toucher : il promet d'intervenir le lendemain. Rideau. Le jour suivant, l'illustre médecin revient en scène, faisant porter derrière lui deux grands vases, remplis d'une substance infecte, et ordonne au jeune homme de boire, et de boire encore. Celui-ci y met toute sa bonne volonté, mais déclare enfin qu'il n'en peut plus. Alors les serviteurs de Rhazes étendent le malheureux sur le dos, le maintiennent de force, et lui versent inpitoyablement le breuvage nauséabond dans la bouche... jusqu'à ce qu'un vomissement s'ensuive. Le médecin est épanoui : dans le liquide expulsé, il a reconnu une sangsue, avalée sans doute avec une gorgée d'eau stagnante, et cause de tout le mal.

Le reste est à l'avenant, ou à peu près. Voici, par exemple, une cure originale, rapportée dans le *Masnavî* de *Djélal ed-Dîn Roumi :*

« Un homme sage approchait, à cheval. Juste à ce moment, un serpent se glissait dans la bouche d'un homme endormi.

Le cavalier le remarqua et se hâta pour arracher le serpent ; mais trop tard.

Comme il était riche d'intelligence, il se mit à frapper vivement le dormeur au moyen d'un gros gourdin.

Les coups mirent en fuite le pauvre homme, (qui se réfugia) sous un arbre.

Il y avait là beaucoup de pommes pourries qui parsemaient le sol. Le cavalier ordonne : Mange de ces pommes, malheureux !

Et il le força à en manger tellement qu'elles lui retombaient de la bouche.

L'autre supplia : O mon Seigneur, grâce ! pourquoi vous êtes-vous attaqué à moi ? Que vous ai-je donc fait ?...

Mais à chaque nouvelle protestation, le cavalier recommençait à le battre, et lui disait : Sauve-toi dans la plaine.

Poursuivi par les coups de gourdin du cavalier, qui était rapide comme le vent, il allait, tantôt courant et tantôt tombant sur la face...

Il se sentait alourdi (des pommes ingérées), pris de sommeil et d'épuisement ; ses pieds et son visage portaient cent mille blessures.

Jusqu'au soir le cavalier le pressa, le pourchassa (et ne fit halte) qu'au moment où le malheureux, de bile remuée, fut pris de vomissement.

Toutes les choses, bonnes et mauvaises, qu'il avait mangées s'échappèrent... et le serpent avec elles.

Il comprit et se prosterna devant l'homme bienfaisant (qui l'avait maltraité) » (1).

On devine quelles applications mystiques *Djélal* tirera de son récit, qui, indépendamment d'elles, est bien dans le goût des historiettes médicales de la littérature populaire. Le *thème* varie un peu, certes : cure de l'hydropisie par absorption accidentelle d'extrait de vipères macérées ; guérison d'une apoplexie par la flagellation ; d'une pleurésie, par la piqûre d'un scorpion ; d'une paralysie, par décoction de coloquinte dans le lait ; de je ne sais quelle autre maladie, par ingestion de sauterelles qui s'étaient nourries de je ne sais quelle herbe, etc. Mais le *genre* est toujours le même, avec une pointe d'inattendu, de mystère ou de drôlerie.

A propos d'autres récits, on a prononcé le mot de « psychothérapie ». Après tout, pourquoi non ? La psychothérapie doit être aussi vieille que l'humanité.

L'inévitable Rhazes fait encore les frais d'un des récits les plus amusants de cette espèce — un peu trop long pour que nous le rapportions ici : on y voit *al Razi*, assez crânement, ma foi, guérir l'Emir *al Mansour* d'une crise tenace de rhumatisme, en provoquant chez lui un formidable accès de peur et de colère. Bien entendu, l'ingénieux médecin s'était mis prudemment à l'abri des effets immédiats de cette commotion salutaire.

(1) *Masnavî*. Book II, vol. I. Transl. Wilson, pp. 163-164.

Les poètes, qui se vengent à coups d'hémistiches, sont, pour le psychothérapeute, des clients moins dangereux que ces despotes orientaux. Djâmî, le Persan (1414-1492), qui est lui-même un grand poète, conte ce trait cruel dans son *Baharistan* ou « Demeure du printemps », 6e jardin :

« Un poète consulte un médecin et lui dit : Quelque chose s'est noué dans mon cœur, et me donne du malaise ; mes membres en dépérissent et les poils se dressent sur ma peau. Le médecin, qui était un homme avisé, lui demanda : Probablement n'as-tu encore lu à personne tes derniers vers ? — Vrai, répond-il. — Le docteur poursuit : Eh bien ! récite-les. — Le poète s'exécute ; puis, sur la prière de son interlocuteur, recommence une seconde et une troisième fois. Alors le médecin lui dit : Maintenant, lève-toi, tu es sauf. C'est ta poésie qui te restait sur le cœur, et c'est la sécheresse d'icelle qui se répandait sur tes membres. Mais à présent que tu t'es soulagé le cœur, te voilà guéri » (1).

Parmi les anecdotes où le rôle du guérisseur est dévolu à Avicenne, il en est une, plutôt gracieuse, que nous nous permettrons de citer, parce qu'elle intéresse à la fois la psychothérapie et la psychophysiologie, et qu'elle n'est, d'ailleurs, que la mise en scène d'une doctrine psychologique exposée dans le « Canon » du grand philosophe.

Or donc, un parent du gouverneur de l'ancienne Hyrcanie, au bord de la mer Caspienne, gisait, atteint d'une maladie qui déconcertait tous les médecins à la ronde. Avicenne, de passage en cet endroit, fut prié de donner son avis sur ce cas étrange. Il examine consciencieusement le malade, un jeune homme ; puis, à l'étonnement de tous, demande qu'on fasse venir quelqu'un qui connaisse les noms des districts et des moindres localités de la province. Il fait alors réciter ces noms à haute voix, l'un après l'autre, tandis que lui-même, au chevet de l'infirme, tient constamment le doigt sur le pouls. Soudain, à l'énoncé d'un nom de ville, il perçoit une altération des battements. — Bien, dit-il simplement ; qu'on me cherche maintenant quelqu'un qui connaisse tous les quartiers, toutes les rues et toutes les maisons de cette

(1) F. Hadland Davis, *The Persian Mystics*. II. *Jâmî*. London, 1908, pp. 106-107.

ville-là. Cela fut fait. Et la récitation des noms reprit, comme précédemment, Avicenne tenant toujours le pouls. De nouveau à la mention d'une certaine maison de cette ville, la pulsation s'altéra. Et le grand médecin, jusque là silencieux, posa tranquillement son diagnostic : C'est fait, dit-il. Le jouvenceau est enamouré de telle jouvencelle, qui habite telle maison, dans telle rue, dans tel quartier, dans telle ville. Le remède, pour ce malade, c'est la face de l'aimée. Le mariage fut célébré, un mariage heureux et fortuné, comme dans tous les contes « véridiques ». Il va sans dire que le jeune homme se trouva guéri pour la cérémonie.

Or, voici ce que l'on peut lire dans le « Canon » d'Avicenne (édit. Venise, 1544, fol. 208 b. Cité par Browne, p. 85) :

Au chapitre bizarrement intitulé : *De Ilixi* (cf. 1e partie, p. 413), Avicenne décrit les symptômes qui accompagnent l'amour (classé là parmi les maladies mentales), et en particulier les irrégularités du pouls : « Par là, continue-t-il, il est possible, même quand le malade se refuse à confidences, d'identifier une personne aimée par lui, et de tirer de cette connaissance un mode de traitement. Voici le procédé à suivre. Un certain nombre de noms sont dits et répétés devant le malade, cependant qu'on lui tient le pouls ; et lorsque le pouls devient nettement irrégulier, ou même s'efface à peu près, (on interrompt, et) l'on recommence l'essai. J'ai expérimenté plus d'une fois cette méthode et découvert le nom de la personne aimée. Une fois en possession du nom de cette personne, continuez à prononcer des noms de villes, de rues, d'habitations, d'arts ou de métiers, de familles et de districts, y associant toujours le nom déjà trouvé ; et ne cessez point de tâter le pouls, de manière que, s'il s'altère à chaque mention d'une chose quelconque, vous puissiez inférer de là des détails sur la personne cherchée, sur son nom, son extérieur et sa profession. J'ai obtenu, par ce procédé, des renseignements précieux. Alors, si vous n'entrevoyez aucun espoir de cure en dehors d'une union légitime des deux amoureux, sanctionnée par la religion et la loi, prescrivez ce moyen, etc. »

Peut-être cette méthode ingénieuse d'exploration, dont les ouvrages arabes ou persans rapportent des applications de plus en plus embellies, pourra-t-elle intéresser un instant ceux de nos confrères en physiologie, qui observent les

réactions somatiques de l'émotion sur des patients bardés de pneumographes, de cardiographes, de pléthysmographes et de sphygmographes, substituts modernes de la main palpatrice et des doigts déliés d'Avicenne.

Arrivés aux frontières de la psychologie et de l'art de guérir, nous devons nous défendre d'être entraînés en dehors du sujet où nous étions convenus de nous enfermer. La psychothérapie évoque la « suggestion », celle-ci conduit à l'hypnose, puis, de là, aux bizarreries encore inclassables du fakirisme : et nous voilà presque en psychologie religieuse. N'ai-je pas là, sous mes yeux, m'invitant pour ainsi dire à franchir une frontière artificielle, ce passage tentant du roman de Djâmî, « Salâmân et Absâl » : « (Le roi) concentra sur Salâmân (son fils, épris d'Absâl) *toute sa force de suggestion* au point de le détacher complètement d'Absâl, etc... » (1) Ce que Fitz Gerald traduit : « He mesmerises him » (« il le magnétise ») ; si les romans étaient de l'histoire, on pourrait dire que Fitz Gerald tranche, par ce petit mot, un problème épineux de psychophysiologie, ou même de métapsychie. (Dans cet ordre d'idées, un volume de M. D. B. Macdonald : *The religious Attitude and Life in Islam.* Chicago, 1906-1912, contient, en peu de pages, des développements intéressants.)

Arrêtons ici notre promenade en zig-zag. Nous y avons rencontré les médecins orientaux dans les situations les plus variées, mais non encore dans cette conjoncture particulièrement délicate, où ils se voient aux prises, chez leur client, avec une maladie essentiellement incurable : la vieillesse. Djélal, le noble poète du soufisme, va nous brosser aimablement ce dernier tableautin, et nous enlever ensuite, d'un coup d'aile, par delà la médecine terrestre, impuissante. Écoutez le dialogue savoureux du médecin et du vieillard :

« Un homme très vieux dit à un médecin : Mon cerveau s'affaiblit.

Le médecin répond : Cette faiblesse du cerveau est l'effet de votre grand âge.

(1) *Djâmî. Salâmân et Absâl.* Traduit du persan par Aug. Brioteux. Paris, 1911, p. 136.

Le vieillard : Mes yeux s'obscurcissent.

Le médecin : Encore un effet de l'âge, vénérable vieillard.

Le vieillard : Je souffre de vives douleurs dans le dos.

Le médecin : O vieillard épuisé, cela aussi tient à votre âge.

Le vieillard : Je ne digère plus aucun aliment.

Le médecin : Faiblesse d'estomac : c'est votre grand âge.

Le vieillard : Je respire difficilement.

Le médecin : Oui, de la dyspnée. Voilà, quand vient le grand âge, deux cents maladies lui font escorte.

Alors le vieillard s'écria : Imbécile ! tu ne fais que me répéter la même chose. Est-ce tout ce que tu as appris de médecine ?

Homme insensé, tu n'as donc pas un grain d'intelligence, pour ne point savoir que Dieu a créé un remède pour chaque maladie ! Ane stupide, etc...

Là-dessus, le médecin lui dit : O vieillard, qui passez les soixante ans, cette susceptibilité et cette colère viennent aussi de votre grand âge. L'affaiblissement de vos membres et de vos forces a diminué votre empire sur vous-même et votre patience.

Un homme de votre âge ne peut supporter deux mots sans pousser des clameurs, ni une gorgée de liquide sans vomir. »

— « Excepté toutefois (rectifie le poète) l'homme âgé qui s'est enivré de Dieu : dans le cœur de celui-là exulte la vie bienheureuse; d'extérieur décrépit, il est jeune au dedans » (1).

Aussi bien, si *Djélal* eût été le médecin du vieillard quérulant, lui aurait-il indiqué le seul remède que Dieu créa pour cette maladie : »

Ne regarde pas ta joue charnelle qui se flétrit et s'excave,
Regarde ta joue spirituelle : que celle-ci soit douce et délec-
[table.
Le corps sombri [par l'âge] ressemble à un corbeau et le
[monde du corps est un hiver ;
Qu'entre ces deux tristesses fleurisse un éternel printemps (2).

Les médecins du corps, dit *Ghazzali*, ont souvent courte vue : « Sans aucun doute, le médecin, le physicien et l'astro-

(1) *Masnavî*, trad. sup. cit., pp. 269-270.

(2) F. Hadland Davis, *The Persian Mystics*. I. *Jalalu'd-Dîn Rûmî*. London, 1912, p. 46.

logue ont raison, chacun dans sa spécialité. Mais ils ne voient pas que la maladie est, pour ainsi parler, un câble d'amour par lequel Dieu hisse jusqu'à lui les saints, ceux dont il a dit : J'étais malade, et vous ne m'avez pas visité. — La maladie est une de ces expériences précieuses, par lesquelles l'homme s'élève à la connaissance de Dieu... » (1).

Terminons sur cette parole du grand théologien arabe. De l'avoir transcrite à la fin d'un article profane, cela nous vaudra peut-être l'indulgence de ces ascètes musulmans, tel le soufi *al Hojwiri* († 1063 ou 1071), pleins d'une austère défiance pour toutes ces curiosités frivoles — fussent-elles d'ordre médical — qui n'apportent à l'homme aucune utilité durable : « La science est immense et la vie est courte : aussi n'est-il point requis d'apprendre toutes les sciences, comme l'Astronomie, la Médecine et l'Arithmétique, etc., mais seulement, de chacune d'elles, le minimum qui intéresse la loi divine : assez d'astronomie pour reconnaître, la nuit, les heures de la prière ; assez de médecine pour s'abstenir de ce qui est nuisible ; assez d'arithmétique pour comprendre la division des parts d'héritage et pour calculer la durée de l'*idda* » (2).

J. M., S. J., D. Sc.

(1) *The Alchemy of Happiness, by Al Ghazzali.* Translated from the hindustani, by Claud Field. London, 1910, p. 37.

(2) (*Idda* = période pendant laquelle il est interdit à une veuve, ou à une femme divorcée, de contracter un nouveau mariage.)

The Kashf al-Mahjub, the oldest persian Treatise on Sufiism, by al-Hujwiri. Translated by R. A. Nicholson. « Gibb Memorial Series », vol. XVII. Leyden and London, 1911, p. 11.

II

LES COMBUSTIBLES AUX ÉTATS-UNIS

—

II. — Le pétrole (1)

Si déjà avant la guerre, la lutte était engagée entre le charbon et le pétrole, depuis l'armistice le champ et l'acharnement de la lutte ne connaissent plus ni trêves ni limites. La pénurie et le haut prix du charbon en Europe, les progrès de l'aviation, les services rendus par les automobiles pendant la guerre et la multiplication rapide de ces véhicules depuis quatre ans ont donné au pétrole une vogue extraordinaire qui a poussé prospecteurs et ingénieurs à en intensifier la production et à en faciliter l'emploi. Au premier rang des producteurs, et de loin et depuis toujours, les États-Unis n'ont qu'une crainte : l'abondance de leurs réserves est-elle assurée ? Les appréciations de leurs spécialistes et géologues sur l'importance de ces réserves sont loin d'être précises et concordantes et les richesses en huile que renferme le sous-sol de leurs concurrents sont aussi imparfaitement évaluées.

Hérodote, paraît-il, aurait déjà connu les puits de pétrole de la Perse ; en tout cas, ces souvenirs classiques n'étaient pas présents à la mémoire des paisibles fermiers de la région de Titusville, au N.-O. de la Pensylvanie. Ils avaient bien remarqué que des matières huileuses apparaissaient de temps à autre à la surface du sol ; mais ils se bornaient à les recueillir telles quelles plutôt par curiosité que pour l'usage. En 1859, un d'eux, nommé Drake, entreprit le forage d'un puits et arrivé à 22 m. de profondeur, au lieu de l'eau qu'il cherchait, tomba sur une nappe d'huile.

Désolé, il ne comprit pas qu'il avait la richesse sous la

(1) Cfr. Revue des Questions scientifiques, janvier 1922 ; avril 1922.

main ; ce n'est qu'un peu plus tard que furent reconnues les propriétés de ce liquide gluant, salissant et puant. Les environs boisés et pittoresques de Titusville, où les habitants des fermes clairsemées menaient une existence si calme, furent transformés et envahis par les chercheurs d'huile et leurs « derricks ». Depuis lors, la fièvre du pétrole a sévi presque continuellement aux États-Unis avec ses alternatives de déclin et de recrudescence.

Si beaucoup de capitalistes ont réalisé de belles fortunes dans cette industrie, il y a peu de genres d'affaires dans lesquels de plus grandes sommes d'argent aient été perdues. Que de puits considérés comme fabuleux n'ont eu qu'une existence éphémère ! La découverte du pétrole dans une région y provoque toujours un « boom » et en peu de temps la valeur des terrains augmente dans des proportions américaines. L'esprit de spéculation qui tente la foule est habilement exploité par des brasseurs ou des lanceurs d'affaires et témérité, naïveté, ignorance, amour du lucre et du risque amènent des catastrophes.

De 1859 à 1920, les États-Unis ont produit, en chiffres ronds, de 8 à 9 milliards d'hectolitres de pétrole. A partir de 1875, leur production double environ tous les 10 ans :

1875	12.500.000 barils (1)	1903	100.000.000
1885	22.000.000	1910	218.000.000
1895	53.000.000	1920	443.000.000

1921 470.000.000 barils.

Depuis plusieurs années, leur quote-part annuelle dans la production mondiale n'est pas inférieure aux deux tiers, malgré le nombre croissant de rivaux, malgré l'apparition du Mexique dont la production toute récente était déjà en 1919 supérieure à celle de la Russie de 1916.

De 1857 à 1916, les États-Unis ont fourni 60 % de la production mondiale, la Russie 27 %, le Mexique et les Indes Hollandaises chacun 2.5 %, la Roumanie et la Galicie chacune 2 %. Depuis 1916, la situation est devenue trop

(1) Le baril contient officiellement 42 gallons ou 160 litres ; en fait, cette mesure est dépassée.

anormale en Russie, Roumanie et Galicie, pour qu'on puisse prolonger jusqu'en 1920 la période de comparaison.

Production en barils jusqu'en 1917.

États-Unis	4.252.000.000	depuis	1859
Roumanie	143.000.000	»	1859
Italie	947.000	»	1860
Canada	24.000.000	»	1862
Russie	1.832.000.000	»	1863
Galicie	145.500.000	»	1874
Japon-Formose	36.000.000	»	1875
Indes anglaises	98.000.000	»	1889
Indes hollandaises	175.000.000	»	1893
Pérou	22.000.000	»	1896
Mexique	222.000.000	»	1901
Argentine	2.900.000	»	1907
Trinité	5.300.000	»	1908
Égypte	2.700.000	»	1911

La production mondiale de 1920 atteint 684 millions de barils. Dans ce total la part des

États-Unis est de	443.500.000	Roumanie	7.200.000
Mexique	160.000.000	Perse	6.700.000
Russie	25.000.000	Pologne	6.000.000
Ind. holland.	16.500.000	Pérou	2.700.000
Ind. angl.	8.500.000	Japon	2.000.000

Le pétrole qui à ses débuts est resté assez longtemps un produit dont l'Est avait le monopole naturel, comme celui du charbon, est actuellement la richesse de l'Ouest, du Centre, du Sud des États-Unis. Sa répartition est plus large que celle de la houille. On peut ramener à cinq les grandes zones pétrolifères et plusieurs d'entre elles ont successivement occupé le premier rang.

Le bassin apalachien est le plus ancien, et jusqu'en 1875, pendant 16 ans, il fut le seul qui alimentât le marché national ; à partir de 1887 sa quote-part descend à 90 %, elle tombe à 50 % en 1901 et à 6 % environ actuellement. Il s'étend du Nord au Sud le long du flanc occidental de la chaîne des Alleghanys, de l'État de New-York à celui d'Alabama, et ne dépasse pas vers l'Ouest le centre de l'Ohio. Le rôle de la Pensylvanie y a été prédominant

pendant de longues années, mais les nouveaux puits de la Virginie occidentale et plus récemment ceux du Kentucky ont maintenu la production. En 1920, elle atteint 30.000.000 de barils, chiffre de 1905, dont 8.700.000 sont fournis par le Kentucky, 8.000.000 par la Virginie, 7.500.000 par la Pensylvanie. De tous les pétroles américains, c'est celui dont les prix sont les plus élevés, parce qu'il est le plus apprécié ; il ne contient ni soufre ni asphalte, il est le plus riche en huile d'éclairage et en essences légères.

L'Ohio occidental et l'Indiana forment le bassin de Lima-Indiana, exploité depuis 1886 et auquel on peut rattacher l'Illinois, leur voisin ; ces trois États constituent le groupe du Nord. L'importance de Lima-Indiana a passé de 4 % en 1886 à 41 % en 1896, son maximum ; sa chute rapide l'a ramené à 1,5 % ; ce recul ne tient pas seulement aux progrès des autres zones, mais aussi à l'appauvrissement de la région. Son huile est fortement sulfureuse ; ce qui rend le raffinage difficile. Grâce à l'Illinois, aussi en recul, mais dont la production en 1920 atteint 10.700.000 barils, soit à peine la moitié de son rendement en 1913, mais le triple du Lima-Indiana, le groupe du Nord se maintient.

L'huile de l'Illinois est de meilleure qualité, elle contient asphalte ou paraffine dans des proportions très variables, mais rarement assez de soufre pour exiger un traitement spécial.

Le troisième groupe se subdivise comme le précédent et comprend avec le « Mid-Continent » ou région centrale formée du Kansas, de l'Oklahoma et de la plus grande partie du Texas, le « gulffield » ou zone côtière englobant la Louisiane et le reste du Texas. Le Centre, mis en valeur depuis 1889, a vu son importance et sa quote-part croître sans cesse et par bonds ; elle atteignait 24 % en 1913, 45 % en 1916, 55 % en 1920 et même 62 % si l'on y ajoute la production du Golfe. Ces progrès tiennent surtout à la richesse extraordinaire de l'Oklahoma et du Texas. Grâce à leur énorme rendement (Oklahoma : 105.700.000 barils en 1920 ; Texas : 96.000.000 ; Kansas, 38.500.000), les États-Unis conservent leur prépondérance sur le marché

du pétrole, mais leur production a changé de caractère : ces pétroles sont surtout à base d'asphalte, riches en huiles lourdes de chauffage et de graissage. On rencontre cependant dans le Centre, mais non dans la zone du Golfe, les deux extrêmes au point de vue de la teneur en soufre et en asphalte. L'importance de cette zone est de date récente. En 1907, l'Oklahoma et le Kansas réunis ne donnent que 45.000.000 barils, et 144.000.000 en 1920. Le Texas passe par bonds de 11.000.000 en 1908, à 96.000.000 en 1920. La présence du pétrole dans le sous-sol de la Louisiane était connue depuis 1872, mais aucune tentative d'exploitation n'avait été faite jusqu'en 1901, année de la découverte du fameux puits de Beaumont (Texas). Lorsqu'on passe par les vastes plaines de la Louisiane méridionale, la géologie de cette région semble à première vue remarquablement simple, mais les sondages ont montré que les roches dans lesquelles on trouve le pétrole sont tordues en forme de vastes dômes. Les terres d'alluvion qui composent la couche supérieure très unie du sol cachent des roches sous-jacentes qui ont été fortement tourmentées par des mouvements anciens ; c'est dans ces couches ou à proximité que se rencontrent soufre, sel et pétrole.

Dans la zone des Rocheuses, l'on compte jusqu'à présent cinq États dont le sous-sol contient du pétrole, le Colorado, le Montana, l'Utah, le Nouveau-Mexique, le Wyoming, mais en fait, un seul d'entre eux, le Wyoming, retient l'attention. Depuis 25 ans, le Colorado et l'Utah livraient quelques rares barils, quand le Wyoming, dont l'extraction n'atteint que 22.000 barils en 1909, dépasse le million et demi en 1912, et 17.000.000 en 1920. Au centre de la région montagneuse et minière, il touche à l'Idaho riche en plomb, à l'Utah et au Montana connus pour leur cuivre.

Le long du Pacifique, dans la moitié Sud de la côte californienne, les gîtes de pétrole répondent aux charbonnages de l'extrémité Nord du Washington. Connue dès 1886 pour sa zone d'huile du comté de Ventura, la Californie resta longtemps au nombre des petits producteurs : 300.000 barils en 1890, 4.000.000 en 1900. Mais depuis quinze ans, ses progrès ont été très rapides ; elle lutte avec l'Oklahoma pour le premier rang, sa production oscillant autour de

105 millions de barils. L'existence de pétrole et d'asphalte était connue des premiers colons qui employèrent dès le début le bitume semi-solide provenant des suintements du sol comme combustible et pour la construction des maisons. Bien auparavant, ce pétrole suintant à la surface était utilisé dans les missions des Pères espagnols. Ce ne fut qu'en 1865 que se produisit le premier mouvement sérieux pour l'exploitation des gîtes ; en Californie comme en Pensylvanie, éclata un véritable enthousiasme pour cette nouvelle industrie, mais soit qu'on ne disposât pas du matériel voulu, soit que l'expérience manquât aux pionniers, les efforts échouèrent, sauf dans le comté de Ventura où quelques exploitations se maintinrent. L'intérêt pour le pétrole se ranima en 1892, quand on eut foré dans la ville de Los Angeles un puits qui donna un rendement modeste mais constant d'huile noire et lourde. Les recherches furent fructueuses et suivies d'un « boom » tel qu'en trois ans, 2400 sociétés se formèrent pour l'exploitation du pétrole. Combien disparurent ! car à certains moments le pétrole qui avait valu 1 et 1.50 $ le baril tomba à 10 cents.

Trois champs d'exploitation sont situés au Sud de San Francisco entre ce port et Los Angeles, dans la vallée de San Joaquin; ce sont le comté de Fresno, le comté de Kern, où en 1910, à Lakeview, un nouveau puits donna jusqu'à 90.000 (?) barils par jour, et la région de Los Angeles (comtés de Ventura et de S. Barbara), où les environs de Montebello, depuis 1917, attirent l'attention. Dans la ville même de Los Angeles, maisons et trottoirs cessent brusquement pour faire place aux « derricks », pompes et tuyaux d'exploitations malodorantes.

Bassins	Période d'exploitation	Rendement
Apalaches	1859-1920	1.281.000.000 B.
Californie	1876-1920	1.317.000.000
Lima-Indiana	1886-1920	776.000.000
Illinois	1889-1920	776.000.000
Rocheuses	1887-1920	82.000.000
Centre	1889-1920	1.617.000.000
Sud	1889-1920	353.000.000

L'outillage du foreur est simple : une chèvre à quatre montants et une sonde suspendue à un câble que manœuvre

une machine à vapeur. C'est ce que les Américains appellent un *derrick*. Arrivé à 80 mètres, il est nécessaire de tuber le puits pour éviter les éboulements. Les profondeurs sont très variables : 30, 100 et même 1000 mètres. Les frais d'une installation dépendent de cette profondeur, de la nature du terrain, de la chance ou du nombre des essais infructueux, car les aléas de la prospection sont très grands. Avant la guerre, un puits de 100 mètres coûtait de 4000 à 6000 $ au maximum. Le pétrole peut jaillir sous la pression des gaz et du terrain ou bien il doit être pompé. Il existe aux États-Unis bien des « pompages » dont le rendement ne dépasse guère un hectolitre par jour. En Californie, on voit de gigantesques pylônes, souvent surmontés de grandes ailes qui tournant sous la brise actionnent les pompes aspirantes des puits. Parmi les puits jaillissants ou « gushers » on cite le *Silver tip* de Californie qui, assez longtemps, lança par jour 24.000 barils, le fameux *Lakeview*, ouvert le 15 mars 1910, qui lança en un jour le contenu de 90.000 (?) barils et continua pendant plusieurs mois à produire plus de 40.000 barils. Ces chiffres des premiers jours ne sont et ne peuvent être que des estimations et, comme l'homme de l'Ouest est le Marseillais de l'Amérique, elles frisent l'exagération. Dans les trois premiers mois, le *Lakeview* a donné près de 4.000.000 de barils, mais qu'a-t-on pu en recueillir ? Ces *gushers*, nombreux aussi en Texas, ont une capacité moins durable que les puits ordinaires. Au début, à Bakou, en Pensylvanie et au Texas, la valeur des puits s'établissait par la hauteur du jet ; on est revenu de cette opinion ; ces grands jets causent des ennuis et des pertes considérables (1).

(1) On comptait 197.000 puits aux États-Unis, en 1918 ; en 1917, 6540 avaient été abandonnés.

Régions	Nouv. puits	Puits aboutiss. au pétr.	Rendement journalier moyen	Puits aboutiss. au gaz	Échecs
Golfe	1518	864	570 B.	54	600, ou 2 sur 5
Pensylvanie	2376	1776	5	248	352, ou 3 sur 20
Virginie	1653	933	16	435	267, ou 1 sur 6
Kansas	3427	2712	118	117	540, ou 3 sur 19
Oklahoma	6797	5027	73	410	1360, ou 1 sur 5

Aux États-Unis le pétrole se trouve dans les terrains primaires (gisements de l'Est et du Centre), les terrains tertiaires (Ouest et Sud), dans les sables quaternaires en Louisiane. La grande majorité des gisements connus est constituée par des sables pétrolifères dont la porosité, élément essentiel de leur teneur en pétrole, est très variable. Ces sables se présentent rarement en nappes absolument continues, ils forment au contraire des lentilles d'importance variable, mais toujours isolées les unes des autres, et ces lentilles sont affectées par des accidents tectoniques comme fissures et failles, qui entraînent des variations de la teneur en pétrole. Deux sondages voisins peuvent donner un rendement très différent. Ces gisements sont constitués non par une assise sableuse unique, mais par une série d'assises superposées de puissance et de richesse très variables, parfois complètement stériles. Graviers et conglomérats peuvent ainsi contenir du pétrole et certains des niveaux les plus productifs de Californie appartiennent à cette formation. Très souvent, aux États-Unis, les gisements sont constitués par des grès.

Parmi les calcaires, seuls les calcaires dolomitiques sont susceptibles de contenir des proportions importantes de pétrole : la dolomitisation produit des cavités nombreuses dans le calcaire et lui donne la porosité propre à l'accumulation des huiles minérales. A ce type appartiennent les régions de l'Ohio et de l'Indiana.

La durée totale de production utile d'un sondage est très variable, mais dépasse rarement vingt ans ; d'après les statistiques de l'U.-S. Geological Survey, les durées moyennes des puits productifs sont : Apalaches 7 ans, Californie 6 ans, Texas 4 ans. Un point important en matière de concessions pour le pétrole est la superficie maximum dont la concession peut être accordée à une même personne. Si elle est trop considérable, il en résulte un privilège peut-être contraire à l'intérêt général ; trop réduite, elle peut empêcher une exploitation rationnelle. Au début, les abus ne furent pas rares, à l'Est comme à l'Ouest. La législation a changé depuis, mais sans réaliser l'uniformité, car cette matière ne dépend pas du pouvoir fédéral. Ordinairement, la surface maximum concessible

est fixée à 640 acres, ou 300 hectares ; au Texas cependant la limite est de 1280 acres. Les compétitions surgissent facilement entre exploitations voisines, car chaque exploitant a avantage à foncer son puits le plus rapidement possible le long de la limite de la concession pour drainer à lui une partie du pétrole de la concession limitrophe. Il s'est constitué peu à peu aux États-Unis un code de coutumes de bon voisinage auxquelles tous ont intérêt à se conformer ; il est admis qu'un sondage ne doit pas être fixé à moins de 100 mètres de la limite de la concession.

La difficulté n'est pas d'extraire le pétrole, mais de le transporter. Que de fois ne jaillit-il pas dans des endroits déserts et, si la région a ses chemins de fer, le tarif des Compagnies n'est-il pas exorbitant ? En Californie, par exemple, lors de la découverte des nouveaux puits en 1902, ne demandaient-elles pas 50 cents pour un produit qui valait 75 cents le baril, forçant ainsi plusieurs exploitations à cesser leurs opérations ? Rockfeller, et ce fut l'origine de sa colossale fortune, résolut la difficulté en établissant ses « pipe-lines », aqueducs souterrains où le pétrole coule vers d'immenses réservoirs à portée des raffineries, d'où wagons et bateaux-citernes le transporteront aux consommateurs. Ces conduites sont constituées par des tubes en acier ou en fer forgé susceptibles de résister à des pressions de l'ordre de 100 atmosphères. Les tubes ont généralement un diamètre de 15 à 25 centimètres, une longueur de 5 à 6 mètres et sont reliés entre eux par des manchons filetés. Suivant la rigueur plus ou moins grande de l'hiver, on les dépose dans le sol à 50 cm. ou à un mètre de profondeur. Pour assurer l'écoulement du liquide malgré sa viscosité et les pentes, des pompes sont établies dans des stations distantes de 25 à 50 kilomètres. L'organisation d'une « pipe-line » comprend un réseau de conduites collectrices *(gathering pipe lines)* et d'une ou plusieurs « *trunk-lines* ». Les collectrices (5 à 10 cm. de diamètre) sont établies sur les lieux mêmes de production, dont elles réunissent les différents puits à une station centrale. La conduite de transport (20 cm. de diamètre) pèse ordinairement 40 kilos par mètre et sa capacité par kilomètre est environ 250 barils. L'augmentation de la production du Mexique en 1920 n'est pas

due à l'exploitation de nouvelles régions mais au perfectionnement apporté à la construction des pipe-lines et au développement des transports maritimes. Avant cela, la capacité de production du Mexique dépassait sa capacité d'expédition.

Ces pipe-lines appartiennent à des sociétés privées dont la *Standard-Oil* est de loin la plus puissante ; elles sont considérées par la loi comme organes de transport-public *(common carrier)* au même titre que les chemins de fer. Les particuliers qui confient à ces compagnies le transport de leur pétrole reçoivent en échange des *run-tickets* ou des titres négociables indiquant la quantité, la qualité de l'huile remise par eux à la compagnie. Le porteur de ces titres peut les négocier au cours du jour ou se faire livrer par la compagnie la quantité et la qualité de pétrole correspondant aux spécifications de son titre.

L'huile brute contient toujours de l'eau et des boues que l'on sépare par décantation pour obtenir l'huile brute sèche qui par les pipe-lines est envoyée aux raffineries. Les pétroles bruts se classent en deux groupes principaux, ceux où dominent les paraffines et pendant longtemps les puits américains n'ont livré que des pétroles de cette nature, riches en essences légères et en huile lampante, et ceux où dominent les naphtènes, groupe qui comprend les pétroles russes et ceux de Californie et du Texas. Ceux de Galicie tiennent le milieu entre les russes et les américains. Traités par distillation, ils donnent jusqu'à 120° à 150° les huiles légères recherchées pour les moteurs à essence; de 150° à 280° l'huile d'éclairage (kérosène) ; de 280° à 350° et 400° les huiles lourdes de chauffage et de graissage. La distillation laisse vers 350° à 400° un résidu important appelé *mazout,* vendu comme combustible liquide ; il peut être distillé et donnera des huiles lubrifiantes ; le résidu de cette dernière opération est un goudron, brai, ou coke ; ce dernier est plus dense que le coke de houille et brûle bien.

Ces essences obtenues par distillation contiennent en général des matières résineuses en dissolution qui donnent au pétrole une flamme fuligineuse et une mauvaise odeur. De là, l'opération du raffinage par action oxydante. Les

agents oxydants énergiques dissolvent ces produits résineux ; on se sert ordinairement de l'acide sulfurique à 66° Beaumé.

Le pétrole quitte la raffinerie en wagon ou en bateau-citerne. Les wagons américains ont ordinairement une capacité de 50 tonnes et les compagnies en possèdent actuellement 66.000. Comme point de comparaison, on ne comptait en Belgique en 1914, que 80.000 wagons de marchandises.

La guerre sous-marine a visé surtout la flotte pétrolière des Alliés (1) ; aussi, à la fin de 1920, aux 3.400.000 tonnes représentant le tonnage de portée en lourd à flot dans le monde pouvait-on opposer 2.200.000 tonnes en construction. Sur les 524 pétroliers à flot le 31 décembre 1921, on en comptait 252 anglais et 191 américains, et sur les 225 pétroliers en construction, 150 américains et 55 anglais. En 1914, les Américains ne possédaient que 52 *tanksteamers* sur les 335 qui composaient la flotte pétrolière du monde. Les transports par mer des ports du Texas à New-York se font aussi par grands chalands-citernes remorqués par cargos.

Les usages auxquels se prête le pétrole distillé et raffiné sont évidemment les mêmes aux États-Unis qu'en Europe, mais plus répandus en Amérique que chez nous, ils ne font qu'augmenter la valeur d'une richesse minérale dont les Yankees sont fiers d'avoir tiré si bon parti. Pendant longtemps, le kérosène a été le produit le plus important, et malgré les progrès des becs à gaz et de l'électricité qui l'ont relégué au second et au troisième rang comme il avait démodé chandelles et bougies, son usage n'est pas aux États-Unis circonscrit à la campagne.

Les routes à la campagne sont entretenues et améliorées par le pétrole. Au début, le public trouva cette boue graisseuse encore plus détestable que la poussière ; dans les che-

(1) Construits en acier, les bateaux-citernes sont partagés par une cloison longitudinale et par des cloisons transversales en un certain nombre de réservoirs indépendants. Ces réservoirs sont généralement prolongés à leur partie supérieure par un caisson métallique plus étroit servant de collecteur de gaz et sur lequel sont branchées les tuyauteries nécessaires. Un poste central de pompes assure les manœuvres de chargement et de déchargement. Au point de vue de la stabilité, il est préférable de placer la machine au centre du navire ; mais, pour augmenter leur sécurité, presque tous les pétroliers ont leur machine à l'arrière.

mins se creusaient des sillons et l'huile abîmait les vêtements des passants, mais pendant la seconde année la route se tasse et demande peu d'entretien dans la suite. Une première application d'huile sur une route sablonneuse requiert environ 75 barils par mille, mais la route tassée en prend de moins en moins. Les voies arrosées de pétrole couvrent actuellement des centaines de milles en Californie et brillent au soleil comme un miroir. Le pétrole de l'Ouest est le seul qui ait donné de bons résultats, parce que le pétrole à base de paraffine ne laisse après l'évaporation de ses produits volatiles qu'un résidu ne possédant aucune des qualités adhérentes de l'asphalte ; ce résidu forme une matière grasse fragile qui s'effrite et ne protège plus le chemin. Après l'évaporation, le pétrole lourd laisse une couche d'asphalte sur la terre et la surface apparaît comme un pavage de bitume et chaque arrosage augmente et fortifie cette couche.

Actuellement, néanmoins, les essences légères, gazoline et motocarline, et les huiles de chauffage sont les articles les plus appréciés. Le succès de l'automobile — voiture, camion, tracteur agricole, navire, avion — assurait déjà avant la guerre la vente des essences légères. Pendant la guerre, la destruction des voies ferrées et l'étendue du front exigèrent des quantités d'essences telles qu'on put dire, que la victoire des Alliés fut celle du camion sur la locomotive. « Les Alliés furent portés à la victoire sur des flots de pétrole », a répété lord Curzon et ce pétrole, la Russie, la Roumanie, la Galicie étant bloquées ou envahies, arrivait des États-Unis. Depuis l'armistice, la vogue du moteur à explosion multiplie l'auto de ville et de tourisme comme le lourd camion de marchandises. En 1911, circulaient aux États-Unis 677.000 autos ; en 1916, on en compte 3.500.000 ; en 1918, 6.000.000, en 1919, 7.500.000, et 10.000.000 en 1921.

C'est surtout dans l'Ouest que le pétrole s'est substitué au charbon trop cher ou trop rare. Le pétrole de Californie a plus de valeur calorifique que les charbons de Colombie britannique, et une tonne de charbon australien peut être remplacée comme pouvoir de vaporisation par 4 ou 3 1/2 barils de pétrole. En 1910, le baril coûtait

au consommateur un dollar et le charbon de Colombie britannique et d'Australie 7 à 8 $ la tonne ; c'est donc une économie de 50 % pour les chemins de fer et les industries. En 1909, les chemins de fer américains brûlaient 20.000.000 de barils, 36.000.000 en 1915, 46.000.000 en 1917. Le nombre de milles parcourus par les locomotives brûlant du mazout atteint 64.000.000 en 1908 et 147.000.000 en 1917. Les trains qui traversent les régions inhabitées et sauvages de l'Ouest s'arrêtent en face de tanks élevés le long de la voie ; dans le silence désertique de ces plateaux rocheux on n'entend que le halètement de la locomotive qui refait sa provision de *fuel-oil* et les wagons repartent dans un nuage de poussière et de fumée.

Dans les appareils de chauffage domestique, dans les établissements industriels le pétrole se substitue au charbon, mais la préférence donnée au mazout par les navires de guerre et de commerce a plus d'importance (1). Les avantages du mazout sont si nombreux qu'il remplace la houille même dans les pays où elle est particulièrement abondante : plus grandes facilité et rapidité dans le transport et la manutention, réduction du volume à emmagasiner et gain de place pour la cargaison, propreté plus grande à l'intérieur et à l'extérieur de la chambre de chauffe, réduction de la main-d'œuvre des foyers, réduction du prix de revient par unité de chaleur produite, augmentation du pourcent d'efficacité et plus grande facilité pour régler la production de la chaleur, augmentation du rayon d'action du navire et diminution de ses escales.

Aussi, si avant la guerre le bas prix du charbon prolongeait les hésitations, actuellement sa pénurie et sa cherté multiplient les partisans du pétrole. Les chemins de fer d'Amérique du Sud, des compagnies françaises (2) l'ont adopté;

(1) Le mazout peut être introduit directement dans les foyers ; comme il exige pour brûler beaucoup d'oxygène, on se sert d'injecteurs qui le pulvérisent et l'imprègnent d'air. Il peut être utilisé aussi dans un moteur Diesel où il sera soumis dans le cylindre à une forte pression produisant d'elle-même un mélange détonant qui chasse les pistons comme un moteur à explosion.

(2) La mise sous pression ne demande que 45 minutes, alors qu'il faut au moins trois heures pour mettre en état de marche

des compagnies de navigation de première ligne comme la *White Star*, la *Cunard*, la *Transatlantique*, la *P. and O.* l'utilisent sur leurs plus belles unités ; les marines de guerre anglaise et américaine comptent un nombre croissant de dreadnoughts, de croiseurs et de torpilleurs chauffant au pétrole. Aussi l'industrie pétrolifère passe du champ purement commercial au rôle d'industrie essentielle, nécessaire à la sécurité nationale, elle devient une question de politique internationale, c'est-à-dire de rivalité entre puissances maritimes, entre cousins anglo-saxons.

La suprématie anglaise tient à sa suprématie navale, celle-ci dépend sans doute du nombre et du tonnage de ses navires, mais aussi de sa maîtrise du combustible. Si c'est elle qui ravitaille les stations de charbon de l'Atlantique Nord et Sud, de la Méditerranée et de l'Océan Indien, les vaisseaux étrangers sont à sa merci, sans compter les avantages commerciaux que ce fret de sortie assure à sa flotte marchande et à ses importateurs. Mais si le mazout détrône le charbon, si les Américains en sont les grands détenteurs, s'ils se construisent une flotte marchande et une formidable armada, si le sous-sol de l'Angleterre et de son empire colonial ne possède guère de réserves de pétrole, c'est le déclin de l'Angleterre inévitable ; la maîtrise des mers lui échappera le jour où les Yankees pourront ravitailler en pétrole les navires qui sillonnent les mers.

M. Baldwin, secrétaire de la Trésorerie, n'a-t-il pas déclaré aux Communes, en 1920, que « la question du pétrole doit être désormais considérée comme la base de la politique économique de la Grande-Bretagne » ?

Dès 1913, le premier Lord de l'Amirauté déclarait en public qu'un des buts essentiels de la politique de l'Amirauté devait être que le gouvernement devînt propriétaire de certains gisements ou du moins pût en contrôler la production. Or, cette production et la vente du pétrole tendant

une locomotive au charbon. Les « Pacifics » du dernier modèle, équipées au mazout ont, en 1919, remorqué entre Paris et Tours, des trains de marchandises de 1200 tonnes et des express de 600 tonnes ; ces derniers ont une vitesse de 93 kilomètres à l'heure. La dépense de combustible par 100 tonnes et par 100 kilomètres, ressortait à 2 kilos 160 de mazout et 4 kilos 200 de charbon.

de plus en plus à tomber sous le contrôle de firmes indépendantes et peu nombreuses, l'amirauté craignait avec raison de dépendre de compagnies dont les intérêts sont cosmopolites et financiers en ce qui concerne la livraison régulière de produits d'importance vitale. Le gouvernement acquit ainsi les actions de l'Anglo-Persian, de la Burmah Oil, mais il fallait davantage. La puissance du capital anglais, l'esprit d'entreprise et de conquête britanniques éclairés par la haute compétence de techniciens renommés, viennent de montrer au monde ce que seule une élite est capable de réaliser dans le domaine des affaires.

Sir Marcus Samuel, lord Cowdray, chef du groupe Pearson, lord Curzon, le professeur John Cadmian de l'Université de Birmingham, les directeurs de grands organes comme la *Shell Royal Dutch*, la *Mexican Eagle* sont les principaux noms de cette élite. Avec rapidité, prudence et décision, ils ont fait tant et si bien qu'au Guatémala, au Honduras, au Nicaragua, au Costa-Rica, à Panama, en Colombie, au Vénézuéla, à l'Équateur, l'immense majorité des concessions sont aux mains de sujets britanniques et seront mises en valeur par eux. Le groupe Shell possède en toute propriété ou en contrôle des champs d'huile aux États-Unis, en Russie, au Mexique, aux Indes, en Roumanie, en Égypte, à Ceylan, en Malaisie, en Chine, au Siam, aux Philippines ; en outre, par la convention de San Remo, l'Angleterre a obtenu de la France des privilèges relatifs au pétrole des colonies françaises. Sans doute, il faudra plusieurs années avant que les profits de cette campagne soient cueillis, mais la récolte promet d'être abondante et magnifique. Le *Daily Mail* en révélant ces conquêtes écrivait : « La plus grande opération du gouvernement britannique traitée depuis l'accaparement des actions de Suez est à la veille de se réaliser ». Ce clairon de victoire alarma les Américains. Si depuis longtemps ils produisent 65 à 70 % de tout le pétrole consommé, et contrôlent en plus au Mexique et ailleurs 12 % de la production mondiale du pétrole, tandis que l'Angleterre n'avait pu assumer le contrôle que de 4 %, et cela dans des territoires à des milliers de lieues de Londres, des géologues américains prétendent qu'au taux de la consommation actuelle, les États-Unis

seraient à sec en 18 ou 25 ans. Leurs réserves ne dépasseraient pas 9 milliards de barils, le reste du monde en contiendrait 53 milliards ! et comme il est impossible d'exploiter immédiatement ces 9 milliards, on prévoit donc que l'Amérique devra restreindre sa consommation, ou acheter le pétrole à l'étranger. En 1920, elle a importé 120.000.000 de barils du Mexique. L'envahissement des puits mexicains par l'eau salée inquiète aussi les Américains. M. David White, membre de l'U.-S. Geological Survey, est d'avis que les puits américains auront fourni leur maximum dans quelques années ; le pourcentage d'épuisement des principaux champs serait le suivant :

Lima-Indiana	93 %	Illinois	51 %	Louisiana	22 %
Apalaches	70 %	Californie	26 %	Texas	8 %
Colorado	65 %	Centre	25 %	Wyom.	2 %

Cependant, est-il possible d'estimer avec une approximation suffisante le degré d'épuisement ou l'importance des ressources potentielles d'huile du monde ou des États-Unis ? D'après M. White, il existerait dans onze États américains, des territoires contenant de puissantes réserves sans compter celles d'huile de schiste. D'après le président de l'Institut américain du pétrole, aucune appréhension à avoir quant au ravitaillement du monde et des États-Unis dans l'avenir. En tout cas, devant les conquêtes anglaises, le Sénat, en automne 1920, autorisa le Secrétaire de la Marine à constituer aux États-Unis des gisements qui ne pourront être vendus ni loués sans sa permission en vue d'assurer le ravitaillement de la marine de guerre. Dans leurs prospections en territoires étrangers, les Américains trouvent les Anglais installés. M. Maning, directeur du Bureau of Mines, à Washington, fait en mars 1920 une déclaration à la presse insistant sur la nécessité de ces explorations et prétend que les Américains sont exclus des concessions pétrolifères en territoires, colonies ou dépendances britanniques, françaises et hollandaises ou qu'ils ne peuvent y avoir la direction effective de leurs entreprises. De là, comme pour les pétroles de Mésopotamie, des échanges de notes qui refroidissent les relations entre gouvernements, une rivalité entre des organes puissants comme

la Standard Oil, ses filiales et les sociétés anglaises ; des excitations dangereuses de l'opinion publique qui montrent que sous la question du pétrole se dissimulent de plus vastes ambitions dont la maîtrise des mers, la prépondérance financière, les questions d'alliance sont l'objet disputé.

III. — Le gaz naturel

Comme dans la presqu'île d'Apschéron, se dégagent des fissures du sol aux États-Unis quand la pression suffit à l'en faire jaillir de lui-même ou par les forages qu'on y pratique, de grandes quantités de gaz naturel pouvant être employé immédiatement pour l'éclairage et le chauffage. Utilisé dans ce but depuis le commencement du XIXe siècle, ce gaz a été depuis environ 25 ans appliqué à des usages industriels qui en ont provoqué une production de plus en plus intense. Pendant longtemps, elle a échappé à toute statistique. Celles de 1882 lui donnent une valeur de 215.000 $, et celles de 1886 l'estiment déjà à 10.000.000 $. Depuis lors jusqu'en 1897, cette valeur reste à peu près stationnaire, mais à partir de 1898 elle augmente régulièrement et rapidement, si bien qu'elle atteint en 1916 huit fois celle de 1898 ou 120.000.000 de $; elle dépasse donc celle de l'or et dépasse deux fois et demie celle de l'argent extrait en 1916 du sol des États-Unis. Le gaz de la Virginie occidentale seule en 1916 vaut trois fois la production nationale de 1898. Depuis 1918, la production n'a plus augmenté mais les prix ont encore haussé.

Années	Production	Valeur
1911	512 milliards de pieds cubes	74.000.000
1914	591	94.000.000
1916	733	120.000.000
1917	795	142.000.000
1918	721	153.000.000
1919	735	162.000.000

Comme le pétrole, le gaz est amené par des tuyaux à des distances de 300 et 500 kilomètres. La profondeur des puits varie avec la région, elle dépasse facilement 100 et 300 m.,

l'on compte même quelques puits de 500 mètres. Ici, comme ailleurs aux États-Unis, gaspillage : des localités éclairées au gaz naturel le laisseront brûler jour et nuit, jugeant inutile la main-d'œuvre chargée comme chez nous d'allumer et d'éteindre les reverbères. L'on comptait en 1916, plus de 2.000.000 de consommateurs domestiques et 18.300 clients industriels.

Les plus grands producteurs sont la Virginie occidentale qui livre 40 % du total, la Pensylvanie et l'Oklahoma qui interviennent à eux deux pour un tiers ; puis suivent l'Ohio, le Kansas, la Louisiane, le Texas, la Californie. Parmi les consommateurs, le groupe Pensylvanie-Ohio est au premier rang ; sa quote-part atteint la moitié de la production, et cela à cause de la grande consommation des hauts-fourneaux, des fonderies, laminoirs, établissements industriels du district de Pittsburg. La Pensylvanie, en tête des producteurs jusqu'en 1910, est depuis cette date dépassée par la Virginie ; en 1916, on comptait sur son territoire 14.000 puits en activité, abstraction faite de ceux qui donnent à la fois gaz et pétrole. Ses champs de gaz coïncident à peu près avec ses champs de pétrole et livrent un produit de plus grande valeur, appelé en Amérique « *wet gas* » parce que riche en gazoline.

La Virginie occidentale exploite le sien depuis 1841, époque où ce combustible était utilisé pour l'évaporation des saumures, industrie centralisée dans la région de Charleston, et pour la fabrication du noir de fumée. En 1916, par exemple, 23 milliards de pieds cubes ont été brûlés en Virginie dans les factoreries de noir de fumée recherché pour l'encre de Chine, l'encre d'imprimerie, le cirage, le noir de peinture.

Comme la Pensylvanie alimente par ses tuyaux souterrains l'État de New-York, la Virginie ravitaille le Maryland ; au premier rang des producteurs, elle n'occupe que le cinquième des consommateurs. L'État de New-York fut le premier, en 1821, à utiliser le gaz naturel pour l'éclairage et le chauffage ; mais s'il ne représente plus maintenant que 2 % de la production nationale, il est resté grand consommateur. L'État d'Oklahoma, qui ne figurait pas encore sur la liste des producteurs en 1898, a livré en 1916, plus de

123 milliards de pieds cubes. Les progrès du pétrole et du gaz ont chez lui marché parallèlement ; il envoie son gaz aux districts de Missouri qui extraient et fondent le zinc et le plomb.

Une nouvelle industrie dont les débuts remontent à 1903 et l'essor à 1909, a contribué beaucoup aux progrès de la production du gaz en Oklahoma. Elle consiste à séparer du gaz naturel la gazoline qu'il contient et à augmenter ainsi le formidable stock d'essence nécessaire aux moteurs à explosion. En 1911, 176 usines établies dans neuf États ont livré 7.500.000 gallons de gazoline ; et en 1918, 1000 usines en ont livré 282.000.000 pour une valeur de 50 millions de $. Le volume du gaz utilisé dans ces usines en 1911 n'a pas dépassé 0,5 % du volume du gaz naturel obtenu pendant cette année, proportion qui monte à 27 % en 1916. C'est l'Oklahoma qui en est le plus grand producteur ; en 1916, à 1000 pieds cubes de gaz correspondait environ 1 gallon de gazoline, obtenu par la méthode de compression ou de condensation qui exigeait du « *wet gas* ». La méthode d'absorption plus récente a réalisé de grands progrès et s'adapte à tous les gaz : elle les met en contact intime avec une huile plus lourde que la gazoline et par la distillation ordinaire de cette huile l'on retrouve et récupère la gazoline. Celle-ci est fort appréciée et possède les qualités exigées pour les aéroplanes de grande altitude. Si les 104 millions de gallons obtenus en 1916 ne représentent pas même 5 % des 2.250.000.000 de gallons de la gazoline produite aux États-Unis, cette nouvelle industrie a néanmoins l'avantage de sauver du gaspillage le « *wet gas* » de beaucoup de puits dont le rendement n'est pas jugé suffisant pour payer les dépenses des tuyaux souterrains. Comme ce gaz des régions à pétrole est très riche en gazoline, en l'utilisant ainsi on augmentera la proportion du gaz disponible pour le chauffage et l'éclairage.

La *tourbe* n'a de valeur commerciale que depuis 1908 ; la concurrence du charbon est trop forte pour qu'elle acquière l'importance qu'elle possède en Irlande, en Prusse, en Russie. De 24.000 tonnes en 1908, la production passe à 151.000 en 1918. La zone comprend surtout le nord et la côte orientale. Au N. le Minnesota, le Wisconsin, le

Michigan et la Nouvelle-Angleterre ; le long de la côte, sur une largeur variable, elle constitue presque une ceinture, depuis le New-Jersey jusqu'en Floride et de là au Texas. Riche en azote, la tourbe est jusqu'à présent utilisée surtout comme engrais ; après la confection de litières, la préparation de certains emballages, la part réservée à la combustion est minime.

Les Américains que l'abondance et la variété des richesses ont facilement et trop longtemps menés au gaspillage, reconnaissent surtout depuis la guerre, la nécessité de la prudence et de l'économie, mais avant que ces principes soient compris et leurs conséquences admises par une population de plus de 108 millions d'habitants, que de pertes inévitables ! En outre, l'activité industrielle que favorise cette prodigieuse richesse en combustibles — il faut y ajouter par milliers les HP fournis par de nombreuses et puissantes chutes d'eau — risque fort, comme en Angleterre et chez nous, de se développer au détriment de l'agriculture. Dans un pays à population croissante et habituée à fort bien se nourrir, un ravitaillement assuré sans dépendance de l'étranger, en face des progrès industriels incessants devient le problème du jour.

J. Charles, S. J.

REVUE
DES RECUEILS PÉRIODIQUES

I

ASTRONOMIE. — 1921.

(*) SOMMAIRE. — *Physique solaire et stellaire :* sensibilité des raies spectrales ; étoiles à raies chromosphériques ; l' « earth-effect » (la parallaxe solaire par le spectre de Vénus, rotation de Vénus). — *Distances des étoiles :* méthode trigonométrique ; méthode spectroscopique ; parallaxe moyenne d'un groupe d'étoiles. — *Mesure interférentielle du diamètre d'une étoile :* le diamètre de Bételgeuse. — *L'Astronomie et la Relativité ;* la Relativité et le mouvement du périhélie de Mercure ; la Relativité et la déviation des rayons lumineux ; la Relativité et le spectre solaire.

PHYSIQUE SOLAIRE ET STELLAIRE

Sensibilité des raies spectrales. — Le spectre solaire est un spectre continu coupé de raies noires dont chacune décèle

(*) *Abréviations bibliographiques* : R. Q. S. = Revue des Questions scientifiques. — C. R. = Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de Paris. — B. A. MÉM. = Bulletin astronomique, 2me série, Mémoires et variétés. — B. A. REVUE = Bulletin astronomique, 2me série, Revue générale des travaux astronomiques. — PR. R. S. = Proceedings of the Royal Society, Series A, Mathematical and Physical Sciences. — M. N. = Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — OBS. = The Observatory. — AN. J. = The Astronomical Journal. — APH. J. = The Astrophysical Journal. — A. S. PAC. = Publications of the Astronomical Society of the Pacific. — A. N. = Astronomische Nachrichten.

l'absorption de la radiation correspondante par un gaz non incandescent de l'atmosphère solaire (les raies dues à l'atmosphère terrestre étant censées écartées), et à chaque élément de l'atmosphère solaire correspond un ensemble de raies noires qui, caractérisées au laboratoire, témoignent de la présence de cet élément. On trouve ainsi dans l'atmosphère solaire tous les éléments sauf une quinzaine (1). Mais de ce que les raies caractéristiques de ces derniers éléments ne s'observent pas dans le spectre, peut-on, comme on le fait généralement, conclure à leur absence dans le Soleil ? On ne le peut pas : A. de Gramont vient d'attirer l'attention sur la sensibilité des raies des éléments cherchés, et la position des raies sensibles lorsqu'il y en a (2) ; des éléments non reconnus, les uns ne possèdent pas de raies de grande sensibilité et le spectre ne témoignerait de leur présence que s'ils se trouvaient en abondance, les autres ne présentent de raies sensibles que dans la partie du spectre absorbée par l'atmosphère terrestre. De même, de deux raies d'égale intensité dues l'une à un élément, l'autre à un autre élément, on ne peut pas du tout inférer d'égales quantités des éléments générateurs ; au contraire, on peut établir quel doit être le rapport des intensités pour que les quantités soient égales, et, généralement, le rapport des intensités permet le calcul des rapports des quantités. Ce sont là des applications d'une branche nouvelle de la physique, la spectrochimie quantitative.

Étoiles à raies chromosphériques. — L'étude spectroscopique de la partie de l'atmosphère solaire qui porte le nom de chromosphère a fait diviser celle-ci par H. Deslandres en trois couches dont chacune est caractérisée par les raies

(1) Le bore, le phosphore, l'arsenic, l'antimoine, le bismuth, le soufre, le sélénium, le tellure, le fluor, le chlore, le brome, l'iode, l'or, le mercure.

(2) A. de Gramont, *Sur l'utilité en Astronomie physique de la considération de sensibilité des raies spectrales*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 893. — De deux raies d'absorption, l'une est plus sensible que l'autre, lorsque, leurs intensités étant les mêmes, une moindre densité de gaz absorbant est suffisante à la produire.

correspondantes du calcium (1) : la couche inférieure à larges raies noires, la couche moyenne à raies brillantes, la couche supérieure à fines raies noires qu'une forte dispersion fait apparaître au milieu des raies brillantes de la couche moyenne (2). Les raies du calcium sont les seules raies brillantes qui se maintiennent dans la lumière générale du Soleil, c'est-à-dire dans la lumière que nous recevrions de cet astre s'il était aussi éloigné de nous que les étoiles : les raies brillantes de l'hydrogène et de l'hélium, visibles au bord et près des taches, ne s'y retrouvent pas.

Jusqu'aux derniers travaux de H. Deslandres (3), le Soleil était la seule étoile connue à raies brillantes uniquement de calcium ; les 750 autres étoiles à raies brillantes du catalogue de Pickering offrent seulement les raies brillantes de l'hydrogène et appartiennent à des types spectraux très éloignés de celui du Soleil (4).

(1) Voir cette *Revue d'Astronomie* pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 2), p. 260 (p. 14 du tiré-à-part).

(2) La couche supérieure de la chromosphère solaire est le siège d'un phénomène important, la formation des filaments, objets allongés pouvant persister pendant plusieurs rotations du Soleil et qui ne jouent pas, dans la physique solaire, un rôle moins intéressant que celui que jouent les taches de la surface. Aussi d'Azambuja, de l'observatoire de Meudon, a-t-il rendu service en imaginant et réalisant une représentation graphique des apparitions et des déplacements des filaments pendant chacune des périodes de rotation du Soleil ; l'ensemble forme une carte de la chromosphère sur laquelle on peut suivre, pendant chacune de ces périodes, l'évolution de ces objets : *Sur un mode de représentation graphique des filaments de la couche supérieure de la chromosphère solaire*, C. R. t. 173 (1921, 2), p. 1450. — A propos de la physique solaire et dans l'attente d'un mémoire plus étendu, il suffira de signaler : J. T. T., See, *Preliminary Announcement of the Cause of the Sunspot Cycle*, A. N., t. 214 (1921), nº 5120 ; la cause du cycle des taches ne serait pas interne mais consisterait dans les actions combinées de Jupiter et de Saturne provoquant des précipitations périodiques de matière météorique sur le Soleil ; une justification détaillée est annoncée comme prochaine.

(3) H. Deslandres et V. Burson, *Recherches sur l'atmosphère des étoiles, Reconnaissance d'étoiles qui ont les mêmes raies brillantes que le Soleil*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 405 ; *Reconnaissance de la couche supérieure dans quelques étoiles et comparaison avec le Soleil*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 729.

(4) Dans cette classification spectrale, dite d'Harvard, le type

En 1913, Schwarzschild et Eberhard annoncèrent la présence de raies brillantes du calcium dans Arcturus (α Bouvier) et Aldébaran (α Taureau), et aussi dans α Gémeaux dont le type spectral est voisin de celui du Soleil.

H. Deslandres et V. Burson ont entrepris en 1920 la recherche systématique des raies brillantes chromosphériques dans les étoiles du type solaire et des types voisins. Ils ont découvert ainsi cinq étoiles nouvelles à raies brillantes du calcium, parmi lesquelles Capella (α Cocher) qui est exactement du même sous-type que le Soleil et ε Gémeaux qui appartient à la même classe. De plus ε Gémeaux montre, au milieu des raies brillantes du calcium, les raies noires caractéristiques de la couche chromosphérique supérieure. Cette étoile est donc celle qui, dans l'état actuel de l'Astronomie physique, présente le mieux les caractères spectroscopiques du Soleil.

solaire correspond à la lettre G ; dans les étoiles de ce type, les raies d'hydrogène sont peu intenses et sont accompagnées d'un grand nombre de raies métalliques ; Capella (α Cocher) est du même type. La classification d'Harvard range les types spectroscopiques dans un ordre qui est censé correspondre à l'évolution des étoiles, la température décroissant. Le type solaire est précédé des types B, A, et F. Dans le premier, auquel appartiennent ε Orion et β Persée, ce sont les raies de l'hélium qui sont prépondérantes ; dans le deuxième, auquel appartiennent Sirius (α Grand Chien) et Déneb (α Cygne), les raies dominantes sont les raies de l'hydrogène ; dans le type F, qui renferme Procyon (α Petit Chien), les raies de l'hydrogène sont moins intenses, et ce sont les raies du calcium qui l'emportent. Le type solaire, à partir duquel se bifurque la succession linéaire des classes spectrales, est suivi des classes K et M d'une part, R et N d'autre part ; les raies métalliques y sont de plus en plus larges et nombreuses (classe K : Arcturus ou α Bouvier, Aldébaran ou α Taureau, σ Gémeaux), puis de larges bandes d'absorption assombrissent le spectre de plus en plus (classe M : Antarès ou α Scorpion, Bételgeuse ou α Orion) ; ces bandes d'absorption sont dues à l'oxyde de titane dans la classe M, au cyanogène dans la classe N, celle des étoiles carbonées : P. Salet, *Sur la spectrophotométrie des étoiles carbonées*, C. R., t. 173 (1921, 2), p. 828. — Sur le parallélisme entre la succession des types spectraux dans la classification d'Harvard et la décroissance de la température : M. N. Saha, *On a physical Theory of stellar Spectra*, Pr. R. S., t. 99 (1921, 3 fév.), p. 135.

L'« earth-effect ». — Dans leur recherche de la déviation générale des raies du spectre solaire vers l'extrémité rouge prédite par la physique relativiste (voir ci-dessous, Relativité), Evershed et Royds, en 1916, à l'Observatoire de Mount-Wilson, avaient trouvé des déviations insuffisantes à confirmer la théorie einsteinienne. Aussi proposèrent-ils une explication des déplacements observés qui n'invoque que les courants régnant dans la couche incandescente du Soleil. Ces courants devant se diriger systématiquement en sens inverse de la direction Soleil-Terre, les auteurs proposèrent l'hypothèse assez inattendue d'une répulsion subie par les gaz solaires de la part de la Terre et non de la part des autres planètes (1). Il en résulterait que les longueurs d'onde mesurées dans le spectre de la lumière émanée de l'hémisphère solaire dirigé vers la Terre seraient systématiquement moindres que les longueurs d'onde des raies correspondantes dans le spectre de la lumière émanée de l'hémisphère regardant une autre planète et réfléchie par celle-ci, et la différence croîtrait avec la distance angulaire de la Terre et de la planète par rapport au Soleil. L'observation spectroscopique de Vénus avait semblé confirmer cette hypothèse.

Ch. E. St. John et S. B. Nicholson ont repris récemment cette étude à l'Observatoire de Mount-Wilson (2). Le déplacement systématique vers le rouge des raies de la lumière solaire directe vis-à-vis des raies de la lumière réfléchie sur Vénus est bien réel ; mais c'est à la hauteur de la planète au-dessus de l'horizon, et non à sa distance angulaire à la Terre par rapport au Soleil, qu'est liée la grandeur de ce déplacement, et l'hypothèse d'une répulsion terrestre, d'un « earth-effect », doit être abandonnée (3). La confusion

(1) Obs., t. 42 (1919), p. 52 et t. 43 (1920), p. 153.

(2) Ch. E. St. John et S. B. Nicholson, *On systematic Displacements of Lines in Spectra of Venus*, Aph. J., t. 53 (1921, 1), p. 380.

(3) Un autre « earth-effect » a été signalé récemment par L. Rodès : *La Terre exerce-t-elle une influence sur la formation des taches du Soleil ?* C. R., t. 173 (1921, 2), p. 550. De l'étude de 3000 clichés pris à l'Observatoire de l'Ebre, l'auteur conclut à une formation généralement plus abondante de taches sur l'hémisphère

d'Evershed et Royds provient de ce que la configuration des trois astres est elle-même liée à la hauteur de Vénus au-dessus de l'horizon moyennement la plus commode pour les observations ; c'est, par exemple, dans le voisinage de la plus grande digression de Vénus que les hauteurs les plus favorables seront maxima (1).

Distances des étoiles

La distance d'une étoile au système solaire résulte de sa parallaxe, angle suivant lequel, de l'étoile, on apercevrait

opposé à la Terre que sur l'hémisphère tourné vers la Terre. De même qu'elle est l'astre le plus dense du système solaire, notre planète posséderait-elle une certaine propriété (telle que magnétique ou électrique) à un plus haut degré que les autres planètes ?

(1) Le petit résidu qui se maintient après déduction de l'influence de la hauteur s'explique par un éclairement dissymétrique de la fente dû à la séparation de l'image visuelle et de l'image photographique par la réfraction atmosphérique, tandis que cette dissymétrie dépend du diamètre de l'image et de la largeur de la fente. A rapprocher de ceci : J.W. Nicholson et T. R. Merton, *On the Effect of Asymetrie on Wave-Length Determinations*, Pr. R. S., t. 98 (1921), p. 261. — Cette étude du spectre de Vénus a conduit ses auteurs à une détermination extrêmement remarquable du rayon moyen de l'orbite terrestre : E. St. John et S. B. Nicholson, *Determination of the Solar Parallax from spectroscopic Observations of Venus*, A. S. Pac., t. 32 (1920), p. 332. Le déplacement des raies est un effet Doppler-Fizeau de la variation des distances Soleil-Vénus et Vénus-Terre. Or ces distances peuvent s'exprimer en fonction de la seule distance moyenne de la Terre au Soleil. En égalant le déplacement spectral mesuré à son expression en fonction de cette moyenne distance Soleil-Terre, on obtient une équation ne renfermant que cette distance comme inconnue. L'extrême précision des mesures spectroscopiques permet de compter sur une approximation comparable à celle des autres procédés. La valeur conclue de la parallaxe solaire est 8'',813.

Rotation de Vénus. — A propos de ces observations de Vénus (et bien qu'il ne s'agisse plus ici de mesures spectroscopiques), signalons que la question controversée de la rotation de cette planète a été élucidée par Pickering au début de 1920 : The Journal of the British Astronomical Association, t. 31 (1921), p. 218. L'axe de rotation fait un angle petit avec le plan de l'orbise, et sa projection sur ce plan a eu la direction du Soleil le 10 janvier 1921, par une longitude héliocentrique de 46°,6. La durée de la rotation est de 68 heures.

transversalement le rayon moyen de l'orbite terrestre : une parallaxe d'une seconde correspond à 206 265 rayons moyens de l'orbite terrestre ou à 1190 jours de durée de parcours de la lumière ; cette distance est, par définition, le « parsec ».

La distance des étoiles les plus rapprochées se déduit des variations de leurs directions par rapport à la Terre au cours d'une année : c'est la méthode trigonométrique, véritable triangulation topographique. Cette méthode s'est beaucoup perfectionnée dans les dernières années par la substitution de la plaque photographique à l'œil de l'observateur, ce qui permet des mesures d'une précision bien plus grande (1).

Pour les étoiles inaccessibles à la méthode trigonométrique à cause de leur trop grand éloignement, on introduit la notion de grandeur absolue, qui est la grandeur apparente pour un observateur situé à un parsec de distance. Il y a nécessairement une relation entre la grandeur apparente, la grandeur absolue et la parallaxe. De ces trois quantités, la première se mesure au photomètre, la deuxième se déduit de l'observation spectroscopique, par l'intensité relative de certaines lignes spectrales, eu égard à la classe spectrale de l'étoile, et par interpolation des résultats des observations des étoiles de la même classe dont la parallaxe est connue : c'est la méthode spectroscopique proposée par Adams en 1916 (2). Le même astronome a publié en 1921 un important catalogue de parallaxes stellaires obtenues par cette méthode, dont les progrès marchent nécessairement de pair avec ceux qu'apporte à la méthode trigonométrique le perfectionnement

(1) Quelques travaux publiés en 1921 : Ph. Fox, *Mesures de parallaxes stellaires à l'observatoire Dearborn*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 1016 ; A. Rambaut, *Parallaxes of 5-6 Stars...*, M. N., t. 71 (1920-1921), p. 579 ; F. Allen et F. Schlesinger, *The Parallaxes of 34 Stars*, An. J., t. 33 (1920-1921), p. 138 ; K. Burns, *Photographic Determinations of the Parallaxes of 70 Stars*, même vol., p. 171 ; R. Aitken, *Recent Determinations of stellar Parallaxes by photographic Method, a Reivew*, A. S. Pac., t. 33 (1921), p. 41.

(2) W. S. Adams et A. H. Joy, *The Luminosities and Parallaxes of five hundred Stars*, Aph. J., t. 46 (1917), p. 335. — D.L. Edwards, *The spectroscopic Determination of Parallaxes*, Obs., t. 44 (1921, p. 234.

des instruments (1). A signaler encore des notes de H. Turner sur la comparaison des deux méthodes (2).

On s'est aussi proposé le calcul de la parallaxe moyenne de groupes d'étoiles. On connaît la vitesse de la Terre par rapport à l'ensemble des étoiles : 19 à 20 km. par seconde ; et, en un siècle, le Soleil se déplace de 410 fois le rayon moyen de l'orbite terrestre. — Si l'ensemble des étoiles constituait un système indéformable, le recoupement sur chacune d'elles de deux lignes de visée terrestres séparées par un intervalle suffisant permettrait le calcul de sa distance.

Mais les étoiles sont animées de mouvements relatifs, et cette méthode ne peut s'appliquer que d'une manière statistique à la parallaxe moyenne d'un groupe d'étoiles défini par un caractère physique commun, photométrique ou spectroscopique, et dont les composantes sont censées animées de vitesses distribuées de la même façon que, dans un gaz, les molécules de celui-ci.

H. N. Russell a apporté récemment une contribution théorique à cette question (3), avec application à 180 étoiles à hélium, du type d'Orion. La parallaxe moyenne a été trouvée égale à 0'',0083 ou à 0'',0058 (400 ou 570 années de lumière) suivant que le calcul était basé sur le déplacement du système solaire ou sur les mouvements propres des étoiles. C'est le premier nombre qui doit inspirer confiance, la deuxième parallaxe étant probablement abaissée par l'introduction d'étoiles doubles sans qu'on l'ait su, et dont le mouvement périodique a été compté comme mouvement propre.

(1) W. S. Adams, A. H. Joy, G. Strömberg et C. G. Burwell, *The Parallaxes of 1646 Stars derived by the spectroscopic Method*, Aph. J., t. 53 (1922, 1), p. 13.

(2) H. Turner, *Note on the Comparison of Trigonometric Parallaxes with spectroscopic*, M. N., t. 81 (1920-1921), p. 354 ; *Further Note...*, même vol. p, 597. — G. Strömberg, *Systematic Corrections to spectroscopic and trigonometric Parallaxes*, Aph. J., t. 55 (1922, 1), p. 11.

(3) H. N. Russell, *On the Accuracy with which mean Parallaxes can be determined from parallactic and peculiar Motions*, Aph. J., t. 54 (1921, 2), p. 140.

Mesure interférentielle du diamètre d'une étoile

Cette Revue d'Astronomie a signalé, l'an dernier, les recherches récentes sur la mesure interférentielle des petites distances angulaires et rappelé les fondements théoriques de ces recherches (1). Au télescope de 100 pouces de l'observatoire de Mount-Wilson, et sous la direction de A. A. Michelson, J. A. Anderson avait mesuré la distance angulaire des composantes de l'étoile double Capella, α du Cocher. Mais la mesure interférentielle de distances angulaires aussi petites que les diamètres apparents des étoiles exigeait, selon toutes les probabilités, un écartement d'une vingtaine de pieds entre les deux faisceaux lumineux tombant de l'étoile et recueillis par le télescope. Comme on ne peut songer à la construction de miroirs aussi grands, un artifice était nécessaire (2). Ce fut celui que proposa naguère M. Hamy (3), et qui consiste dans la réception des faisceaux lumineux parallèles sur deux miroirs qui les renvoient l'un vers l'autre, perpendiculairement à leur direction primitive, jusque deux nouveaux miroirs qui leur rendent cette direction alors que leur distance est devenue assez petite pour permettre leur entrée dans le télescope.

Dans la réalisation de ce principe par A. A. Michelson à l'observatoire de Mount-Wilson, les quatre miroirs sont disposés dans une charpente solidaire du télescope de 100 pouces de diamètre et de 134 pieds de distance focale, dans un plan passant par l'axe du télescope et sur une même perpendiculaire à cet axe, symétriques deux à deux par rapport à celui-ci. Les deux miroirs extérieurs qui

(1) R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 2), p. 268, (p. 26 du tiré-à-part).

(2) A.A. Michelson et F.G. Pease, *Measurement of the Diameter of α Orionis with the Interferometer*, Aph. J., t. 53 (1921, 1), p. 249.

(3) M. Hamy, *La détermination interférentielle du diamètre des astres*, Annuaire du Bureau des Longitudes pour 1919, Notice B. — D'autre part, M. Hamy a poursuivi ses recherches sur la mesure micrométrique du diamètre des astres, signalées dans cette Revue pour 1920 (R. Q. S., 3me série, t. 30, 1921, 2, note de la p. 270, p. 29 du tiré-à-part) : *Sur un cas particulier de diffraction des images des astres circulaires*, C. R., t. 173 (1920, 2), p. 888, et B. A. Mém., t. 1 (1921-1922), p. 197.

reçoivent les faisceaux lumineux envoyés par l'étoile ont un écartement variable dans le voisinage de vingt pieds. Les deux miroirs intérieurs, qui renvoient les rayons dans le télescope, ont un écartement constant de 45 pouces. La coïncidence des deux faisceaux au foyer de l'interféromètre (1), est obtenue par l'écartement approprié des deux miroirs extérieurs, puis, en fin mouvement, par la rotation d'une lame de verre à faces parallèles à travers laquelle passe l'un des faisceaux. La concordance de marche au foyer est assurée par la symétrie des miroirs par rapport à l'axe du télescope, et l'imperfection de cette symétrie est corrigée par le passage de l'un des faisceaux à travers une lame de verre à faces parallèles et d'épaisseur variable constituée par deux prismes aigus égaux disposés dans des sens inverses et dont l'un est fixe, l'autre mobile.

Un essai effectué en 1920 au moyen de l'interféromètre employé par Anderson pour l'observation de Capella avait déjà décelé une diminution de la visibilité des franges d'interférence dans la lumière de Bételgeuse, ou α Orion. Le 13 décembre 1920, on s'assura du réglage parfait de l'appareil par des observations de β Persée avec 81 pouces de distance entre les miroirs extérieurs, puis de γ Orion avec 121 pouces d'écartement. Gardant ce même écartement, on tourna le télescope vers Bételgeuse : les franges d'interférence étaient indiscernables ; les bandes brillantes de l'un des spectres de diffraction occupaient les bandes obscures de l'autre, et de la distance des miroirs on pouvait, eu égard à la longueur d'onde efficace de la lumière, déduire le diamètre angulaire de la source (2). La meilleure valeur à attribuer à la longueur d'onde efficace de la lumière de Bételgeuse étant 0,575 μ, le diamètre angulaire de cet astre se trouve égal à 0",047. Or sa distance est connue, d'où ses dimensions : le rayon de Bételgeuse vaut 275 fois celui du Soleil ; centrée sur le Soleil, la surface de cette étoile atteindrait presque l'orbite de Mars, et l'orbite de la Terre y serait enfoncée à prés d'un tiers de rayon (3).

(1) Cette Revue pour 1920, R. Q. S., 3me série, t. 30 (1921, 2), p. 269 (p. 27 du tiré-à-part).

(2) Résultat annoncé le 20 décembre par G. Hale dans les M. N., t. 81 (1920-1921), p. 166.

(3) Le rayon de Bételgeuse atteindrait 86 % du rayon moyen

Le calcul ci-dessus du diamètre apparent a été fait dans l'hypothèse d'une égale répartition d'éclat sur toute la surface apparente de la source. Pour une décroissance parabolique de l'éclat du centre au bord, comme la causerait une atmosphère, le diamètre apparent calculé et par conséquent le diamètre absolu devraient être augmentés de 17 % (1).

Lorsque la mise au point définitive de l'appareil aura été faite en ce qui concerne le déplacement continu des miroirs extérieurs, ces recherches seront reprises et appliquées à d'autres étoiles, à commencer par α de la Baleine, α du Taureau (Aldébaran) et β des Gémeaux (Pollux) (2).

A l'occasion de ces travaux de Michelson, Ch. Nordmann

de l'orbite de Mars. — La parallaxe adoptée par Michelson et Pease est o",018 ; c'est la moyenne par poids de la parallaxe spectroscopique d'Adams et de deux parallaxes trigonométriques peu concordantes, o",030 et o",016. Ce calcul équivaut sensiblement à avoir attribué des poids égaux à la parallaxe spectroscopique et à la moyenne des parallaxes trigonométriques. La grande divergence de ces dernières les fait paraître peu satisfaisantes, mais on arriverait à peu près au même résultat final, à savoir o",0165, en adoptant la moyenne de la parallaxe spectroscopique et de la parallaxe trigonométrique que l'on trouve dans le récent catalogue d'Adams et de ses collaborateurs, sous les références des Observatoires d'Yale et d'Alleghani. Avec cette parallaxe, le rayon de Bételgeuse atteindrait 93 % du rayon moyen de l'orbite de Mars. — Sur la parallaxe de Bételgeuse, voir encore : F. Schlesinger, *The Parallax of α Orionis*, AN. J., t. 33 (1920-1921), p. 130 ; la valeur obtenue est o",013 ; O. See, même titre, AN. J., et même volume, p. 146, parallaxe de o",017.

Cette première mesure d'un diamètre stellaire inspire à See une étude cosmogonique : *Stellar Development on Relation to Michelson's Measurement of the Diameter of Betelgeuse*, NATURE, t. 106 (1921), p. 663.

(1) M. Hamy, *Sur la détermination interférentielle du diamètre des étoiles dont l'éclat superficiel n'est pas uniforme*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 342.

(2) Dans une note de son numéro de juin 1921 (t. 44, p. 191) THE OBSERVATORY rapporte, d'après la POPULAR ASTRONOMY, que, le 12 février, F. G. Pease aurait mesuré le diamètre apparent d'Arcturus par l'interférence de deux faisceaux lumineux distants de 19 pieds; ce diamètre serait o",020, ce qui, moyennant une parallaxe de o",12, correspondrait à un diamètre linéaire égal à 154 fois celui du Soleil.

a rappelé des études remontant à une dizaine d'années (1) et dans lesquelles il avait établi une relation entre les diamètres apparents, les grandeurs photométriques et les tempétatures efficaces de deux étoiles. La mesure des températures stellaires au moyen de son photomètre hétérochrome et la comparaison avec le Soleil lui permettent donc le calcul des diamètres apparents. Une observation récente de Bételgeuse a fourni une température de 2680°, d'où un diamètre apparent de 0",059 (2).

On doit à H. N. Russell un travail analogue (3) dans lequel le diamètre apparent de l'étoile se calcule au moyen de sa grandeur visuelle et de son « colour-index ». L'article se termine par une table des valeurs ainsi conclues pour les diamètres apparents d'une quarantaine d'étoiles : on y lit pour Bételgeuse un diamètre apparent de 0",031.

L'Astronomie et la Relativité

C'est au témoignage de l'Astronomie que fait appel la Mécanique relativiste. Elle prétend justifier les petites divergences demeurées entre les résultats de la théorie newtonienne et les observations des perturbations planétaires ; elle exige une déviation des rayons lumineux à leur passage dans le voisinage de masses considérables comme le Soleil ; elle prédit d'autres positions des raies dans le spectre suivant

(1) Ch. Nordmann, *Sur le diamètre apparent de Bételgeuse*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 906 ; rappel d'articles anciens : C. R., t. 150 (1910, 1), pp. 448 et 669 ; t. 152 (1911, 1), p. 73. — Sur le calcul des diamètres stellaires d'après les températures, on trouvera une bibliographie abondante et des renseignements nouveaux dans F. Wilsing, *Ueber die Beziehungen zwischen den Farben, den Temperaturen und den Durchmessern der Sterne*, A. N., t. 214 (1921), n° 5124.

(2) En fait de recherches récentes sur la température des étoiles, il faut signaler : Ch. Nordmann et Le Morvan, *Détermination des températures effectives de quelques étoiles et de leur « colour-index »*, C. R., t. 173 (1921, 2), p. 72 et 380. On y trouve les températures absolues d'une vingtaine d'étoiles mesurées au moyen du photomètre hétérochrome des auteurs, et allant de 3050° (η Gémeaux) à 27700° (ζ Persée).

(3) H. N. Russell, *The probable Diameters of the Stars*, A. S. Pac. t. 32 (1920), p. 307.

que la source lumineuse est soumise à un champ de gravitation plus ou moins intense, suivant qu'elle appartient au Soleil ou à la Terre. — Il y a donc lieu ici de signaler les recherches les plus récentes dans chacune de ces trois voies (1).

La Relativité et le mouvement du périhélie de Mercure. — L'observation décèle une rotation du grand axe de l'orbite de Mercure dans le plan de celle-ci, mesurée par (environ) 590″ en un siècle, tandis que la Mécanique classique, tenant compte des attractions des autres planètes, prévoit un nombre inférieur de 43″ au nombre tiré de l'observation. Or, dans l'étude du mouvement d'une planète autour du Soleil, sans autre influence que l'attraction solaire, là où la Mécanique classique découvre une trajectoire elliptique invariable, la Mécanique relativiste trouve une trajectoire elliptique subissant, dans son plan, une rotation dont la mesure, en un temps donné, est inversement proportionnelle au grand axe de l'ellipse et d'autant plus grande que plus forte est l'excentricité de celle-ci ; dans le système solaire, ce déplacement du périhélie n'est sensible, en un siècle, que pour Mercure et le calcul fait trouver, à un dixième de seconde près, le déficit newtonien (2).

Dans une publication toute récente (3), E. Esclangon critique vivement la valeur de cet argument des relativistes : « Cette méthode de démonstration est défectueuse. Dans une première partie on applique la Mécanique newtonienne, dans la deuxième la Mécanique relativiste. — Si la Mécanique newtonienne est en défaut, elle l'est aussi dans la première partie. La méthode correcte consisterait à pouvoir dire :

(1) Le numéro du 17 février 1921 de NATURE (angl.), (t. 106, pp. 781-813), est consacré à la Relativité. Son sommaire se trouve dans B. A. REVUE, t. 3 (1921), p. 37. Articles astronomiques : F. Dyson, *Relativity and the Eclipse Observations of May 1919*; A.C.D. Crommelin, *Relativity and the Motion of Mercury's Perihelion* ; Ch. E. St. John, *The Displacement of solar Lines*.

(2) Tous les traités généraux de Relativité. Étude récente : J. H. M. Wedderburn, *On the Equations of Motion of a single Particle*, PROC. R. S. OF EDINBURG, t. 41 (1920-1921), p. 26.

(3) E. Esclangon, *Les preuves astronomiques de la relativité*, B. A. MÉM., t. 1 (1921-1922), et tiré-à-part. Paris, Gauthier-Villars, 1922.

1° La Mécanique newtonienne accuse des écarts indiscutés et inexplicables entre le calcul et l'observation ; 2° la Mécanique relativiste, au contraire, appliquée exclusivement (et non pas en supplément à la théorie newtonienne) au calcul complet du mouvement de Mercure, en tenant compte de la présence des autres planètes, rend parfaitement compte des observations ».

Il n'y a pas de doute que l'auteur a, théoriquement, raison. — Pour répondre à cette objection, les relativistes auront à détailler le raisonnement qu'ils n'ont pas manqué de faire implicitement jusqu'ici : ils montreront que la méthode qui vient d'être critiquée conduit exactement au même résultat que celui qu'obtiendrait la Mécanique relativiste appliquée au calcul complet du mouvement de la planète, pourvu que l'on se contente, comme on le fait le plus souvent en Mécanique céleste, de l'approximation qui consiste à négliger les termes dans lesquels entrent les carrés et produits des perturbations (1).

Le système solaire est constitué du Soleil, des huit grosses planètes et de leurs satellites, de près d'un millier de petites planètes et de comètes innombrables. Le problème complet de la détermination et de la prédiction des mouvements de tous ces astres s'énoncerait de la manière suivante : Rapportant les positions de ces astres à des axes coordonnés par rapport auxquels les principes de la Mécanique sont vrais, c'est-à-dire, pratiquement, à des axes liés à l'ensemble des étoiles, on demande des formules dont chacune ait pour premier membre l'une des trois coordonnées de chacun des astres du système solaire, et dont les seconds membres soient des fonctions du temps.

Les principes de la Mécanique permettent d'écrire autant

(1) En mai 1922 eut lieu à Rome l'Assemblée générale de l'Union astronomique internationale. La Commission de la Relativité se réunit sous la présidence de V. Volterra. H. Deslandres y présenta l'objection de E. Esclangon. De Sitter répondit avoir terminé le calcul complet des perturbations de Mercure en Mécanique relativiste et n'avoir obtenu, vis-à-vis du résultat critiqué, que des différences négligeables. (Renseignement tiré d'un rapport sur les travaux de la Commission de la Relativité adressé par H. Vanderlinden au Comité national d'Astronomie.)

de fois trois équations différentielles qu'il y a d'astres à considérer simultanément, c'est-à-dire autant d'équations qu'il y a d'inconnues ; mais, ces équations écrites, il resterait à intégrer un ensemble de plusieurs milliers d'équations différentielles. Il est impossible de songer à la résolution d'un pareil problème : le système solaire ne comprendrait que trois astres que, déjà, on se heurterait aux plus grandes difficultés.

Heureusement, le système solaire renferme une masse, celle du Soleil, qui l'emporte énormément sur chacune des autres, qui l'emporte même énormément sur la somme de toutes les autres ; de sorte que le problème planétaire, inabordable immédiatement, peut être résolu par approximations successives.

La première approximation consiste à considérer chaque planète séparément vis-à-vis du Soleil, à réduire le système au Soleil et à la seule planète actuellement étudiée. L'approximation suivante consiste à considérer les influences des autres planètes comme des perturbations n'apportant que des variations petites aux résultats de première approximation.

Quelle est la solution que donnent la Mécanique classique d'une part, la Mécanique relativiste d'autre part au problème de première approximation ?

La Mécanique classique dit : vis-à-vis d'axes coordonnés par rapport auxquels le principe de l'inertie est vrai, c'est-à-dire, pratiquement, vis-à-vis de l'ensemble des étoiles, la planète décrit une ellipse dont le Soleil occupe un foyer.

La Mécanique relativiste dit : vis-à-vis d'axes coordonnés pour lesquels le champ de gravitation est nul à l'infini, c'est-à-dire, pratiquement, par rapport à l'ensemble des étoiles, la planète décrit une courbe plane non fermée qui peut être considérée comme une ellipse dont le Soleil occupe un foyer et dont le grand axe est animé d'un déplacement angulaire uniforme. On retrouve donc la solution classique en négligeant ce déplacement angulaire qui est, pratiquement, petit. Aussi peut-on dire que la Mécanique relativiste n'apporte, ici, qu'une correction petite à la réponse de la Mécanique classique : en première approximation, dans la recherche des termes principaux, les résultats des deux Mécaniques ne diffèrent que par des termes petits, de l'ordre de grandeur de ceux que l'on cherche en deuxième approximation.

De la même manière, en deuxième approximation, dans la recherche des petites perturbations, les résultats des deux Mécaniques ne différeront que par des termes petits vis-à-vis des termes cherchés, c'est-à-dire de termes très petits vis-à-vis des termes principaux, ou petits du deuxième ordre, et, par hypothèse, négligeables. Dans le calcul des perturbations il est donc pratiquement indifférent — concluront les relativistes, — de s'adresser à la Mécanique classique ou à la Mécanique nouvelle (1).

Mais E. Esclangon fait une autre objection à l'argument tiré du mouvement du périhélie de Mercure : « Les constantes astronomiques sont connues avec un degré limité de précision. Elles doivent être considérées, dans leur ensemble, comme un bloc possédant une certaine malléabilité. L'obligation s'est ainsi imposée d'une sorte de compromis laissant subsister, en certains points, des écarts sensibles présentant par conséquent un certain degré d'arbitraire. — Tel autre astronome qui se proposerait de reprendre une nouvelle détermination de l'ensemble des constantes astronomiques, amené à les discuter dans leur ensemble, pourrait être conduit à leur donner, à chacune individuellement, des valeurs différentes de Newcomb ; car il y a nécessairement en ce problème compliqué une part inévitable laissée à l'interprétation du calculateur. Dans le but de donner une valeur

(1) Ce raisonnement n'est pas applicable au mouvement de la Lune : La masse de celle-ci, en effet, est une fraction trop considérable de la masse de la Terre pour qu'on puisse, même en première approximation, la considérer comme formant tout l'univers avec la Terre, autour de laquelle elle gravite. Les perturbations dues au Soleil ne sont pas petites vis-à-vis des valeurs principales qu'on trouverait ainsi pour les éléments du mouvement lunaire. L'étude de ce mouvement est donc difficile déjà dans la Mécanique classique, et à plus forte raison dans la Mécanique relativiste qui vient seulement de l'entreprendre.

Aux lignes qui lui sont empruntées ci-dessus, E. Esclangon ajoute : « Cette forme de démonstration est d'autant plus impérieuse que les 43″ en défaut dans la théorie newtonienne ne représentent qu'une très faible partie du déplacement réel et total du périhélie de la planète ». — Ces 43″ sont néanmoins, en Mécanique céleste, du même ordre de grandeur que le déplacement total, en ce sens que leur rapport à celui-ci n'est pas une quantité petite, une quantité dont le carré soit négligeable.

qu'il juge meilleure à la masse de Vénus, par exemple, il pourrait être amené à modifier telle autre constante qui aurait pour effet de réduire l'écart du mouvement du périhélie de Mercure et le ramener à 30″ par siècle, par exemple, ou l'augmenter au contraire ».

Cette malléabilité mal définie de l'ensemble des constantes astronomiques peut paraître intolérable dans une science aussi soucieuse de perfection que la Mécanique céleste. Celle-ci serait à même, en principe, de s'en débarrasser, ou, du moins, de la restreindre, en calculant pour chaque constante une limite inférieure et une limite supérieure de l'intervalle auquel elle appartient nécessairement. Il s'agirait d'écrire toutes les équations renfermant ces constantes, de renrde ces équations linéaires au moyen des valeurs approchées actuellement connues, et de soumettre leur ensemble à la théorie des erreurs ; ceci devrait se faire dans un esprit de défiance vis-à-vis de la méthode des moindres carrés dont l'application systématique et imprudente a déjà causé à l'Astronomie plus d'un mécompte retentissant. On comprend cependant que besogne aussi formidable ne soit pas reprise fréquemment, et que les astronomes adoptent, sans discussion nouvelle, les résultats d'un Leverrier ou d'un Newcomb (1).

Jusqu'ici, du reste, cette extrême précision des résultats n'avait pas bien grande importance : l'amélioration de telle constante, parmi les plus suspectes, correspondrait à une fraction de seconde de temps au bout d'un siècle.

Mais aujourd'hui qu'on reprend ces constantes pour étayer le bouleversement de la Physique tout entière, il y a lieu de revenir avec le plus grand soin sur le calcul des constantes mises en cause (2).

(1) U. J. Leverrier, ANNALES DE L'OBSERVATOIRE DE PARIS, Mém., t. 5 (1859). — S. Newcomb, *Transits of Mercury from 1677 to 1881*, ASTRONOMICAL PAPERS OF THE AMERICAN EPHEMERIS, t. 1 (1882), et *The Elements of the four inner Planets and the fundamental Constants of Astronomy*, IBID., t. 6 (1898).

(2) E. Grossmann, *Die Bewegung des Merkurperihels nach der Arbeiten Newcomb's*, A. N., t. 142 (1921), n° 5115, et une note complémentaire n° 5124. Il y a là une discussion fort intéressante des travaux de Newcomb ; mais la clarté n'est pas toujours très grande :

Il est vraisemblable que les valeurs actuelles sont susceptibles d'amélioration. La difficulté provient surtout d'une certaine incertitude sur la masse de Vénus. L'expression théorique du déplacement du périhélie de Mercure renferme les masses des diverses planètes, de Vénus à Neptune, et c'est la masse de Vénus qui crée le terme prépondérant. — Or, tandis que le calcul des masses des planètes pourvues de satellites est possible directement et avec une grande certitude par le rapprochement de la théorie et des observations des mouvements satellitaires (1), on ne peut aborder le

on ne sait pas toujours très bien si les grandeurs considérées mesurent des déplacements du périhélie dans le plan de l'orbite ou projetés sur l'écliptique ; on peut même craindre, à une première lecture, que ce ne soit le déplacement einsteinien du périhélie dans le plan de l'orbite qui est rapproché de la variation de longitude, alors que l'obliquité du plan de l'orbite sur le plan de l'écliptique empêche ces quantités d'être immédiatement comparables. Quoi qu'il en soit, et si une étude approfondie des arguments apportés montre que ceux-ci n'ont rien de tendancieux, la conclusion de cette discussion est bien, après tant de compromis, d'artifices et de moindres carrés, la nécessité d'une reprise complète des travaux de Newcomb. Il faut déjà signaler dans cette voie les recherches relativement récentes de E. Doolittle, *The secular Variations of the Elements of the four inner Planets* (1912). — Voir aussi L. Lecornu, *Quelques remarques sur la Relativité*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 337.

(1) Le calcul de la masse d'une planète possédant un seul satellite se fait dans l'ignorance de la masse de celui-ci et, par suite, dans l'hypothèse d'une masse négligeable vis-à-vis de la masse cherchée. Appliqué à la Terre cet artifice conduit à des valeurs peu satisfaisantes : c'est que, par une exception unique dans le système planétaire, la masse de la Lune n'est pas négligeable vis-à-vis de la masse de la Terre. Heureusement le champ de la gravitation terrestre nous est expérimentalement accessible, et la masse de la Terre se calcule, en somme, d'après l'observation du satellite artificiel que constitue un projectile. — Lorsqu'une planète est pourvue de plusieurs satellites, la masse de ceux-ci se déduit des perturbations qu'ils s'impriment mutuellement. — R. A. Sampson a terminé son grand ouvrage sur les satellites de Jupiter : *Theory of the four great Satellites of Jupiter*, MEMOIRS OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY, t. 43 (1921), p. 270 ; analysé par H. Andoyer dans B. A. REVUE, t. 3 (1921), p. 95. Extrait de cette analyse : « Dès 1910, les résultats [de Sampson] ont été réduits en tables, et publiés par l'Université de Durham sous le nom de *Tables of the four great Satellites of Jupiter* : ce sont ces tables qui servent actuellement à

calcul de la masse de Vénus que par des éléments empruntés aux orbites d'autres planètes. Newcomb a retenu, pour ce calcul, trois méthodes : les perturbations périodiques des longitudes du Soleil et de Mercure ; le mouvement séculaire de la ligne des nœuds de Mercure ; le déplacement du périhélie de la même planète. Les résultats sont respectivement une masse de 1/396000, 1/408000 et 1/348000 de la masse du Soleil. Newcomb a adopté une valeur moyenne des deux premières, 1/405000, et a sacrifié la dernière : c'était laisser sans explication le déplacement du périhélie et amorcer les discussions d'aujourd'hui. Aurait-il adopté la dernière valeur et sacrifié les deux premières qu'il aurait laissé sans explication (en particulier) des perturbations considérables de l'orbite terrestre.

Le malaise signalé par E. Esclangon est donc parfaitement justifié, et, au lieu de rapprocher du déplacement einsteinien de 42",9 par siècle un déficit de la théorie newtonienne précisément égal à 43", il serait plus sage, sans doute, de signaler simplement un déficit d'une quarantaine de secondes. Il n'en serait pas moins vrai que la Relativité apporte à la théorie une amélioration énorme.

Mais il y a davantage. Le désaccord entre le mouvement calculé et le mouvement observé du périhélie de Mercure a été attribué à une ou plusieurs planètes intramercurielles qui, noyées dans l'éclat du Soleil, auraient échappé à l'observation, et les taches noires suivant lesquelles ces planètes devaient se montrer à leurs passages devant le disque du

la préparation des éphémérides des satellites de Jupiter dans les grands annuaires astronomiques. Comme le remarque l'auteur, elles laissent encore subsister bien des divergences avec l'observation : et si la théorie, fondée sur l'unique principe de l'attraction universelle, était parfaite sans doute possible ; si d'autre part on était suffisamment assuré de l'exactitude des observations, il faudrait voir dans ces divergences la révélation d'un fait d'une haute importance scientifique ». Voir un résumé de la théorie de Sampson dans B. A., t. 29 (1912), p. 257.

A propos des perturbations inexpliquées des satellites de Mercure, il faudra lire les *Comptes Rendus de l'Assemblée générale de l'Union Astronomique internationale à Rome*, en mai 1922, qui paraîtront prochainement. Il en a été question à la Commission de la Relativité.

Soleil ont été cherchées pendant longtemps (1). Qu'on admette pour un instant la découverte d'une pareille planète : ne lui aurait-on pas attribué la masse tout juste convenable à expliquer le mouvement résiduel du périhélie de Mercure ? Il y aurait eu là une indétermination dont la théorie aurait entièrement profité. — Quelque chose d'analogue se présente ici. La valeur einsteinienne de 42″,9 a été obtenue au moyen des valeurs numériques actuellement attribuées à diverses constantes astronomiques, et en particulier au rayon moyen de l'orbite de Mercure. Ce qui est bien connu, c'est le rapport de cette distance au rayon moyen de l'orbite terrestre, mais celle-ci n'est guère connue qu'à 100000 km. près. Il ne serait donc pas contraire aux méthodes scientifiques habituelles, et sous réserve des autres confirmations de la théorie, d'établir une bonne valeur de la différence entre l'observation et la théorie newtonienne, de l'égaler à l'expression littérale du déplacement einsteinien du périhélie, et d'ajouter cette égalité au groupe des équations auxquelles, eu égard à d'autres phénomènes, doit déjà satisfaire le grand axe de l'orbite terrestre (2).

(1) Étude récente sur les valeurs que devraient avoir les éléments de ces planètes hypothétiques : W. M. Smarth, *On the Motion of the Perihelion of Mercury*, M. N., t. 82 (1921-1922), p. 12. — Sur les pseudo-observations de ces planètes, lire la *Notice sur les planètes intramercurielles* insérée dans les *Leçons de Cosmographie* de F. Tisserand et H. Andoyer et publiée d'abord par le premier de ces auteurs dans l'ANNUAIRE DU BUREAU DES LONGITUDES pour 1882. — L'échec de ces recherches a fait proposer par plusieurs mécaniciens célestes une petite modification à la loi d'attraction de Newton. En particulier A. Hall a proposé jadis une loi d'attraction en raison inverse de la distance élevée à la puissance 2,000 000 1574 ; voir E. Pasquier, *Cours de Mécanique analytique*, t. 1 (p. 243), Paris et Louvain, 1901. — En 1921, G. Bertrand a fait remarquer que, sans sortir de la Mécanique classique, on peut, d'une infinité de façons, modifier la loi de Newton de manière à assurer le déplacement einsteinien des périhélies : *La loi de Newton et la formule d'Einstein pour le périhélie des planètes*, C. R. t. 173 (1921, 2), p. 438. C'est évident mais sans intérêt, parce que sans généralité : ce serait le retour au procédé des anciens qui, au fur et à mesure des progrès des observations, compliquaient davantage leurs mécanismes d'excentriques et d'épicycles.

(2) A un accroissement d'un centième de seconde de la parallaxe solaire correspond une augmentation du déplacement séculaire du périhélie de Mercure égale à cinq centièmes de seconde.

La Relativité et la déviation des rayons lumineux. — Une autre confirmation de la théorie relativiste serait une certaine déviation des rayons lumineux à leur passage dans le voisinage d'une masse prépondérante. — Pour s'en rendre compte, il suffit de se rappeler qu'un rayon n'est autre chose qu'une ligne constamment perpendiculaire à la surface de l'onde lumineuse. Or, en Physique relativiste, une onde lumineuse traversant un champ gravifique, subit des déformations liées à la distribution des surfaces équipotentielles dans ce champ. Il y a ralentissement dans les parties de l'onde qui pénètrent dans les portions du champ où l'intensité de la pesanteur est plus grande.

En particulier, dans le champ gravifique solaire, une onde assimilable à une onde plane porte vers le Soleil l'énergie lumineuse émanée d'une étoile. A l'approche du Soleil elle se creuse de manière à tourner sa concavité vers celui-ci. Une trajectoire orthogonale de l'ensemble des ondes va donc cesser d'être une droite à son passage dans le voisinage du Soleil, pour s'infléchir en tournant vers lui sa concavité, et un observateur rencontré par ce rayon va attribuer à la source lumineuse une direction exagérément écartée de la direction du Soleil. Pour une source et un observateur extrêmement éloignés du Soleil, le calcul montre que cette déviation angulaire est proportionnelle à la masse du Soleil et en raison inverse de la distance minimum des rayons lumineux au centre de cet astre (1). C'est ainsi que, pour un rayon rasant la surface du Soleil, on trouve une déviation de 1″,74.

Il s'agit donc de photographier deux fois une même région du ciel : une fois pendant une éclipse totale de Soleil et autour de celui-ci, et une fois lorsque la direction du Soleil en est assez éloignée pour que les étoiles qui s'y trouvent soient redevenues visibles. Sur la photographie prise pendant l'éclipse, les étoiles doivent être écartées de leurs positions normales, suivant le nombre et la loi ci-dessus, le long de droites divergeant du centre du Soleil.

(1) Tous les ouvrages généraux sur la Relativité ; de plus : A. R. Forsyth, *The Path of a Ray of Light in the Einstein Relativity Theory of Gravaittional Effect*, M. N., t. 82 (1921-1922), p. 2 ; C. De Jans, *La trajectoire d'un rayon lumineux dans un champ de gravitation à symétrie sphérique*, Ac. R. de Belgique, Cl. des Sciences, Mém., in-8°, 2me série, t. 6.

On sait que ceci fut fait pendant l'éclipse totale du 29 mai 1919, où le Soleil se projetait dans une des régions du ciel les plus riches en étoiles brillantes, le voisinage d'Aldébaran (α Taureau), avec l'amas des Hyades. La loi annoncée fut vérifiée d'une manière que les relativistes jugèrent satisfaisante, et les rayons rasants se montrèrent déviés en moyenne de 1″,98 sur les plaques de l'expédition du Brésil, de 1″,61 sur les plaques de l'expédition de Guinée (1).

La discussion des résultats de l'expédition du Brésil en 1919 a été reprise récemment par G. Zappa (2) ; il y a manifestement dispersion des étoiles autour du Soleil , et la plus grande partie de cette dispersion se retrouve par la déviation relativiste des rayons lumineux ; cependant il y a encore un résidu que l'auteur ne croit pas pouvoir attribuer aux erreurs d'observation ; il cherche à l'exprimer par divers termes tels qu'un terme inversement proportionnel au carré de la distance au Soleil.

De pareilles discussions (avec le danger de provoquer dans un cas particulier, et en vue de ce cas seul, des corrections empiriques aux conclusions d'une théorie générale) montrent que les observations de 1919 ne peuvent pas être considérées comme définitives. Il faut attendre jusque 1938, cependant, pour revoir une éclipse aussi favorable que celle de 1919. On ne s'en prépare pas moins à utiliser, dans le même but, l'éclipse du 20 septembre 1922, dont la bande de totalité traversera l'Australie, rencontrera les Iles Maldives et couvrira les Iles Christmas, dans l'Océan Indien (3).

La Relativité et le spectre solaire. — La vérification sur laquelle les relativistes fondent le plus d'espoirs, mais aussi la plus délicate, est un déplacement de toutes les radiations

(1) A. S. Eddington, *Espace, Temps et Gravitation* (traduction de J. Rossignol), Paris, Hermann, 1921.

(2) G. Zappa, *Studio delle lastre di Sobral*, MEM. SOC. ASTRON. ITALIANA, t. 1 (1920), p. 141, analysé dans B. A. REVUE, t. 3 (1921), p. 91, et dans E. Esclangon, art. cité.

(3) A. D. Ross et R. D. Thomson, *The total Solar Eclipse of 1922, September* 20, M. N., t. 81 (1920-1921), p. 238. La totalité durera $4^m\ 10^s$ à Bandidu dans les Maldives, $3^m\ 42^s$ aux Iles Christmas, et $3^m\ 45^s$ à Cunnamulla dans le Queensland.

lumineuses vers l'extrémité rouge du spectre, déplacement d'autant plus grand que le milieu absorbant se trouve en un point du champ gravifique où l'intensité de la pesanteur est plus considérable.

Un système matériel est animé d'un mouvement périodique qui permet de l'appeler un chronomètre. S'il appartient à un champ de gravitation, la période de son mouvement varie généralement, en Physique relativiste, lorsqu'il passe d'un point à l'autre de ce champ. En particulier, s'il appartient à un champ gravifique, sphériquement symétrique autour d'un point et dont l'intensité décroît lorsque la distance à ce point augmente, la période de son mouvement est d'autant plus longue qu'il est plus proche du centre de symétrie du champ.

C'est ce qui arrive dans le champ gravifique solaire, en chaque atome, pour l'ensemble formé par le noyau et chacun des électrons. La période de vibration (1) de tel électron d'un atome déterminé est plus longue lorsque cet atome se trouve à la surface du Soleil que lorsqu'il appartient à la Terre. Or, l'atome étant incandescent, le nombre de vibrations par unité de temps est lié à la fréquence de la radiation lumineuse correspondant à cet électron, et cette fréquence détermine la longueur d'onde de cette radiation mesurée au spectroscope. Ainsi la longueur d'onde d'une raie d'hydrogène due à un atome solaire est plus grande que la raie d'hydrogène correspondante due à un atome terrestre ; la raie est déplacée vers l'extrémité rouge du spectre, et le rapport de ces deux longueurs d'onde se calcule, en particulier, au moyen de la masse du Soleil ; ce rapport est le même pour toutes les longueurs d'onde et vaut 1,0000021. En d'autres termes, par rapport à la raie correspondante due à une source terrestre, chaque raie due à une absorption dans l'atmosphère solaire subit un accroissement de longueur d'onde égal aux 0,0000021 de celle-ci (2).

(1) Dans la théorie des quanta, cette *vibration* est provoquée par le passage de l'électron d'une trajectoire stable à une autre, moyennant une perte d'énergie égale à un nombre entier de *quanta*, minima indivisibles de quantité d'énergie.

(2) Ce raisonnement suppose que l'atome solaire et l'atome terrestre sont identiques, c'est-à-dire que les phénomènes périodiques

Il s'agit de retrouver ceci par l'observation. Mais cette vérification est extrêmement délicate, car il existe d'autres causes à de pareils déplacements des raies spectrales (1) ; en particulier, le déplacement dû à la pression, également vers le rouge pour un accroissement de pression, est difficile à séparer du déplacement cherché ici ; en effet, la pression dans le milieu absorbant est inconnue, et on ignore quelle portion du déplacement total observé il faut lui attribuer.

Dès 1896, Rowland et Jewell avaient constaté de petites différences de longueurs d'onde entre les raies solaires et les raies de l'arc (2). Le déplacement de la raie se faisait le

sont représentés en chacun d'eux par des équations identiques : alors l'accroissement du *temps propre* des deux atomes est le même du commencement à la fin de la période. D'après la théorie de Weyl, ceci ne serait pas tout à fait exact, car les constantes de l'atome dépendraient de son *histoire*, des champs électromagnétiques antérieurement subis ; mais ces variations sont certainement négligeables. Voir J. Becquerel, *Le Principe de Relativité et la Théorie de la Gravitation*. Paris, Gauthier-Villars, 1922, p. 241.

(1) Entre autres la variation de distance de la source au spectroscope ; c'est l'effet Doppler-Fizeau : les raies du spectre sont déplacées vers l'extrémité violette ou vers l'extrémité rouge suivant que la source se rapproche ou s'éloigne, et ce déplacement est d'autant plus considérable, suivant une loi connue, que la vitesse radiale est plus grande (c'est ainsi que le déplacement einsteinien des raies vers le rouge, dans un rayon émané du Soleil, correspondrait à une vitesse d'éloignement de 630 m. par seconde). D'où l'intérêt d'observations comme celles dont P. Salet vient de publier les résultats dans le B. A. Mém., t. 1 (1901-1922), p. 274 : *Sur les déplacements des raies dans les spectres stellaires ;* les spectres étudiées sont ceux d'Arcturus, Procyon, Persé, Sirius et Véga. — Dans la comparaison des raies terrestres et des raies solaires, on se débarrasse sans peine de la variation de distance de l'observateur au Soleil, ainsi que de la rotation du Soleil, car ces mouvements sont connus. Quant à un mouvement général de descente ou d'ascension imprimé à la couche absorbante, on la décèle et la mesure par la comparaison des longueurs d'onde d'une même radiation en différents points d'un grand cercle d'intersection de la surface du Soleil et d'un plan passant par l'observateur. Sur cette dernière question, voir : A. Perot et Mlle Lindstedt, *Sur la longueur d'onde de la raie solaire* b_2, C. R., t. 152 (1911, 1), p. 1367.

(2) L. E. Jewell, *The Coincidence of solar and metallic Lines, a Study of the Appearance of Lines in the Spectra of the electric Arc and the Sun*, Aph, J., t. 3 (1896, 1), p. 89.

plus souvent vers l'extrémité rouge du spectre, et ces auteurs l'attribuaient tout entier à la pression. Lorsque la question fut reprise après qu'Einstein eût calculé l'écart exigé par la théorie relativiste, les premiers résultats furent peu encourageants. Evershed à Kodaikanal et St. John à Mount-Wilson (1917) constatèrent un déplacement généralement vers le rouge, mais trop faible pour servir de confirmation à la Physique nouvelle (1). Aussi le succès de celle-ci sembla-t-il un instant compromis.

Au début de 1921, G. B. Jeffery publia une étude sur le mouvement de l'électron dans un champ à la fois gravifique et électrique (2). On y voit qu'un champ électrique a sur la période de vibration de l'électron, et quel que soit son signe, une action opposée à celle de la masse : il déplace la raie vers l'extrémité violette du spectre. L'insuffisance du déplacement vers le rouge peut donc s'expliquer de cette manière (3).

En 1911, A. Perot, étudiant le faisceau des raies *b* du magnésium dans le spectre solaire, a trouvé à une raie de ce faisceau un accroissement de longueur d'onde égal aux 0,00000116 de la longueur d'onde de la raie correspondante pour une source terrestre sous la pression atmosphérique. Il vient de reprendre ces travaux pour y chercher la confirmation des théories relativistes (4). Les déplacements de

(1) Voir cependant J. Evershed, *On the Displacements of the triplex Bands near 3883 in the solar Spectrum*, Bull. n° 44 de Kodaikanal Observatory (1920), p. 297 (B. A. REVUE, t. 3, 1921, p. 27).

(2) G. B. Jeffery, *The Field of an Electron on Einstein's Theory of Gravitation*, PROC. R. S., t. 99 (1921, 3 févr.), p. 123.

(3) L'auteur calcule quelle devrait être la charge électrique uniformément distribuée sur la surface du Soleil pour que son influence compense entièrement celle du champ gravifique ; la variation correspondante du potentiel électrique, à partir de la surface du Soleil, serait de l'ordre de 10^{13} volts par cm. Ce gradient, dit l'auteur, est bien trop élevé pour être admissible, et ce n'est pas dans cette direction que se trouvera la solution de la question si débattue (the vexed question) du déplacement des raies spectrales. L'auteur raisonne donc comme si l'observation n'avait fait apercevoir aucun déplacement appréciable. On pourrait plutôt appliquer ses formules au calcul du champ électrique solaire d'après le déficit du déplacement observé.

(4) A. Perot, *Sur la variation avec la pression de la longueur d'onde des raies des bandes du cyanogène*, C. R., t. 170 (1920, 1),

deux raies du faisceau *b* du magnésium pour une variation de pression égale à une atmosphère sont mesurés au laboratoire. Rapprochant les déplacements observés pour ces deux raies dans le spectre solaire, on peut éliminer l'influence du champ gravifique, et, des coefficients de pression connus par l'expérience, déduire la pression dans la couche de magnésium. Cette pression a été trouvée nulle. Il en résulte que le déplacement relatif observé sur l'une des raies doit être augmenté du déplacement relatif dû à une pression d'une atmosphère : aux 0,00000116 de longueur d'onde observés dans le spectre solaire il faut ajouter les 0,00000135 mesurés au laboratoire pour la raie étudiée, ce qui fait trouver, à très peu près, les 0,0000021 prédits par la théorie relativiste.

A la suite de cette découverte de A. Perot, H. Buisson et Ch. Fabry ont repris les études qu'ils ont faites en 1910 sur le déplacement des raies solaires du fer vers l'extrémité rouge du spectre (1), et, adoptant l'hypothèse d'une pression négligeable pour les raies du fer comme pour les raies du magnésium, ont cherché si leurs mesures étaient compatibles avec la Physique relativiste. Sur 22 raies voisines d'une longueur d'onde de 0,425 μ, le déplacement moyen relatif observé a été de 0,0000018 ; il a été de 0,0000024 sur 10 raies voisines d'une longueur d'onde de 0, 530 μ. Les différences entre ces résultats, dont la moyenne (calculée par poids d'après le nombre des raies) est 0,0000020, et la valeur théorique 0,0000021 peuvent être légitimement attribuées aux erreurs d'observation.

Les relativistes accueillirent ces résultats avec enthousiasme. En mai 1921, dans sa préface à la traduction française du livre d'Eddington, *Space, Time and Gravitation* (2),

p. 988 ; *Comparaison des longueurs d'onde d'une raie de bande du cyanogène dans la lumière du Soleil et dans celle d'une source terrestre*, C. R., t. 171 (1920, 2), p. 229 ; *Mesure de la pression de l'atmosphère solaire dans la couche du magnésium et vérification du principe de relativité*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 578, et JOURNAL DE PHYSIQUE, 6me série, t. 3 (1922), p. 101.

(1) H. Buisson et Ch. Fabry, *Sur le déplacement des raies solaires sous l'action du champ de gravitation*, C. R., t. 172 (1921, 1), p. 1020. Articles rappelés : C. R., t. 148 (1909, 1), p. 688 ,et JOURNAL DE PHYSIQUE, 4me série, t. 9 (1910), p. 298.

(2) A. S. EDDINGTON, *Espace, Temps et Gravitation*, traduction de J. Rossignol, Paris, J. Hermann, 1921.

P. Langevin écrivait : « Grâce aux mesures récentes de M. Perot d'une part, de MM. Buisson et Fabry d'autre part, nous pouvons considérer comme définitive la confirmation expérimentale quantitative du troisième critérium prévu pour la théorie par M. Einstein... » ; et pendant l'impression du bel ouvrage qu'il vient de consacrer à l'ensemble de la théorie (1), Th. De Donder ajoutait à son manuscrit : « Cette admirable prévision d'Einstein vient d'être complètement confirmée par l'expérience ».

Aujourd'hui, on semble un peu moins affirmatif : sans mettre en doute les résultats obtenus, on attend de nouvelles confirmations. « Une affirmation aussi absolue [que la question soit définitivement tranchée] serait pour l'instant imprudente, dit E. Esclangon... Il est prudent de ne pas conclure trop précipitamment... Il est du plus haut intérêt de multiplier les méthodes et d'en contrôler les résultats les uns par les autres » (2).

Les déplacements des raies dans les spectres des nébuleuses interprétés d'après le principe Doppler-Fizeau font attribuer à ces formations des vitesses considérables qui sont, pour la plupart, des vitesses d'éloignement. Les relativistes n'ont pas manqué de faire remarquer qu'on n'aperçoit guère de raison valable pour que les nébuleuses fuient systématiquement la région à laquelle appartient le système solaire, et que la plus grande partie du déplacement pourrait être attribuée plus avantageusement au ralentissement des électrons dans le champ gravifique des nébuleuses.

Il y a donc lieu d'examiner la valeur des autres explications qui ont été proposées : c'est ce qu'a fait H. N. Russell (3)

(1) Th. De Donder, *La Gravifique einsteinienne*, Paris, Gauthier-Villars, 1921 (extrait des ANNALES DE L'OBSERVATOIRE ROYAL DE BELGIQUE, 3me série, t. 1, pp. 73-268, 1921).

(2) Signalons un travail tout à fait récent de A. Perot, dans lequel la pression est mesurée dans les milieux absorbants de cinq raies du fer ; la pression n'y est pas nulle, mais évaluée moyennement à 35 cm. de mercure, avec une approximation de 10 cm. : *Mesure de la pression dans l'atmosphère du Soleil*, C. R., t. 174 (1922, 1), p. 933. Sans la détruire, ceci diminue peut-être quelque peu la valeur de la vérification de Ch. Fabry et H. Buisson.

(3) H. N. Russell, *Radiation Pressure and Celestial Motions*, APH. J., t. 53 (1921, 1), p. 1.

et aucune de ces explications, examinée quantitativement, n'a résisté à cette épreuve. La pression de la lumière émanée de l'ensemble du système stellaire auquel appartient notre Soleil est, même calculée dans les circonstances les plus favorables, tout-à-fait insuffisante : au bout de cent millions d'années la nébuleuse d'Andromède n'aurait pu acquérir, sous l'effet de cette pression, qu'une vitesse de 3,5 km. par sec., tandis que les spectroscopistes lui attribuent une vitesse d'éloignement de 316 km. par sec. Quant à l'attraction de notre système stellaire, elle devait créer des vitesses de rapprochement, et encore cette force, quoique bien supérieure à la pression de la lumière, est trop faible pour expliquer la grandeur des vitesses observées, abstraction faite de leur direction. Enfin la répulsion électrostatique entre notre système solaire et les nébuleuses, s'il est vrai qu'elle pourrait équilibrer l'attraction gravifique, ne pourrait être assez puissante sans agir de la même manière sur les diverses parties de chaque nébuleuse, et les disperser.

M. Alliaume.

II

GÉOLOGIE.

La revue des recueils périodiques rédigée l'an dernier par M. l'abbé Delépine, qui avait aimablement accepté de me remplacer, débutait par quelques considérations attristées sur les entraves apportées par la guerre et par ses suites aux diverses manifestations de l'activité des géologues et à la publication de leurs travaux. Bien qu'il s'en faille de beaucoup que la situation soit redevenue normale, la matière amoncelée au cours de cette année est assez abondante pour qu'il ait fallu laisser dans l'ombre ou réserver pour en parler ailleurs, bon nombre de travaux dignes de remarque. Conformément à la tradition de la Revue, on s'est arrêté plus

spécialement dans la rédaction de ce bulletin annuel, aux résultats de recherches ayant quelque portée générale. Parmi les travaux dont il y est fait mention, les uns ont trait à l'*étude des roches sédimentaires*, d'autres à la *stratigraphie*, d'autres enfin à la *tectonique*.

Roches Sédimentaires.

Les brèches sédimentaires marines.

Si l'existence de véritables brèches d'origine marine n'est contestée par personne, leur mode de formation est demeuré jusqu'ici enveloppé d'une obscurité que des études pénétrantes n'ont pas encore réussi à dissiper. M. J. de Lapparent a consacré à l'étude de formations bréchiques d'âges divers plusieurs travaux très remarqués (1). Il a récemment exprimé l'opinion que « ce n'est pas de l'étude des caractères généraux des formations du groupe des brèches que nous pourrons songer à tirer un éclaircissement quelconque sur la question de leur origine, mais plutôt de l'étude minutieuse et comparée de quelques types » (2). Les brèches qui font l'objet de son dernier travail sont constituées par des fragments anguleux de phtanites verts, gris verdâtre ou gris, et par des blocaux d'une roche noire zonée, semblable à une cornéenne, empâtés dans un ciment grenu qui renferme des matériaux d'origine volcanique, des produits de la désagrégation d'une roche cristalline éruptive ou cristallophyllienne, et des éléments d'origine organique, notamment des fragments de crinoïdes. Ces brèches se rencontrent dans le Dévonien de la vallée de la Bruche (Vosges d'Alsace), au milieu d'une

(1) J. de Lapparent, *a*) *Étude lithologique des terrains crétacés de la région d'Hendaye*. Mémoire pour servir à l'explication de la Carte Géologique de France. Paris, 1918.

b) Les formations bréchiques entre les villages de Salles et de Sère-Argelès et au nord du village de Boô (Hautes-Pyrénées). BULL. SOC. GÉOL. FR., 4e série, t. XIX, pp. 62-82, pl. I et II, 1919.

c) Grès, calcaires bréchiques et conglomérats d'Urcuit. (Basses Pyrénées). IBID., pp. 295-304.

(2) Conglomérats et phtanites des terrains dévoniens de la vallée de la Bruche (Vosges d'Alsace). *Compte rendu du Congrès des Sociétés savantes de* 1920 (Sciences, pp. 73-87). Paris, 1921.

sorte de tuf gréseux régulièrement stratifié, dont les éléments sont identiques à ceux du ciment décrit ci-dessus. Ce tuf, qui porte le nom local de *Grauwacke*, alterne avec des bancs de phtanites

Chacun de ces deux types lithologiques peut contenir l'autre à l'état de lentilles ou de traînées, et par endroits on les voit passer insensiblement l'un à l'autre. Dans cet ensemble, les conglomérats apparaissent comme des sortes d'hybrides : ils tirent des bancs de phtanite leurs matériaux grossiers, tandis que les particules de leur ciment ont la même origine que celles qui forment les tufs environnants.

Blocaux et ciment sont contemporains.

Les phtanites, qui se rencontrent à l'état de fragments remaniés dans les conglomérats, avaient donc acquis le caractère de roche cohérente avant d'être incorporés à la brèche, c'est-à-dire bien peu de temps après leur dépôt.

L'intérêt des faits relevés par M. J. de Lapparent au sujet du conglomérat d'Hersbach, est d'autant plus considérable que les éléments de cette roche ne sont pas calcaires, et que par suite le rôle que l'on peut attribuer à la dissolution dans la désagrégation des bancs qui ont fourni les blocaux n'a guère d'importance.

On peut hésiter à suivre M. de Lapparent dans l'explication qu'il fournit du mécanisme de la formation des brèches, et être tenté de faire des réserves lorsqu'il formule la loi suivante : « Deux formations sédimentaires étant contemporaines, l'une pélagique, l'autre littorale, c'est la formation pélagique qui, consolidée à l'état de roche, peut être remaniée dans la formation littorale, tandis que l'inverse n'a jamais lieu » (1).

Mais quiconque voudra s'attaquer à la résolution du problème des brèches d'origine marine devra prendre en sérieuse considération les faits nouveaux versés au débat par l'éminent professeur de Strasbourg.

Les Phtanites Westphaliens.

Conformément à la légende officielle de la Carte géologique, on s'est habitué en Belgique à ranger à la base de l'assise

(1) J. de Lapparent, *loc. cit.*, p. 86.

de Chokier (H1 a) toutes les couches siliceuses qui apparaissent au-dessus des derniers bancs calcaires de l'assise de Visé. En procédant ainsi on réunit sous le nom de phtanites, des roches de type lithologique très différent. Parmi celles-ci, les unes doivent être considérées comme des calcaires, ou tout au moins des roches fortement calcareuses, ayant subi une décalcification et une silicification simultanées (1). On verra plus loin que M. l'abbé Delépine vient d'adopter cette opinion.

A Visé, dans des couches qu'il considère comme ayant acquis leurs caractères lithologiques actuels par une silicification postérieure au dépôt, M. Delépine a découvert une faune nettement dinantienne, correspondant à la subdivision D_2-D_3 de la classification d'Arth. Vaughan (2).

D'autre part, dans diverses coupes, comme à Warnant et au rocher qui porte les ruines de Poilvache, on voit s'intercaler entre les derniers bancs de calcaire, de minces lits de phtanites, continus et d'épaisseur régulière, dont la présence fait supposer qu'il y a eu passage graduel d'un mode de sédimentation à l'autre, par voie d'alternance. Il y a alternance aussi à Visé, où les roches siliceuses renferment des bancs minces de calcaire argileux. En dehors des calcaires silicifiés, les roches dénommées phtanites comportent des bancs d'origine terrigène, dans lesquels le microscope montre de très menus grains de quartz anguleux, enrobés dans une masse formée principalement de calcédoine, pigmentée par du charbon.

On y a reconnu la présence de radiolaires et de spicules de spongiaires. M. M. Bellière a même décrit récemment une variété de phtanite à tel point riche en spicules de Monactinellides qu'il n'a pas hésité à la désigner sous le nom de spongolithe, créé en 1897 par M. Cayeux pour certaines roches du niveau de la Meule de Bracquegnies, presque uniquement formées de spicules.

Ces spongolithes carboniériens ont été recueillis à Malonne et à Floreffe, dans la bordure sud du noyau Westphalien

(1) J. de Lapparent, *loc. cit.*, p. 86.

(2) G. Delépine, *Les formations supérieures du calcaire carbonifère de Visé.* Ann. Soc. scientif. Brux., octobre 1921, p. 118.

inférieur qui occupe la partie centrale du Synclinal de Namur à cette longitude (1).

Durée des transformations diagénétiques.

L'étude très détaillée des minerais de fer oolithiques d'âge jurassique a conduit M. L. Cayeux (2) à reconnaître l'existence dans ces dépôts, de menus fragments remaniés, jouant le rôle de galets minuscules. En règle générale, dans tous les minerais qu'il a étudiés, on rencontre de ces galets, et ils proviennent de la couche même dans laquelle ils sont contenus.

Il y a donc eu, dans ces sédiments, un remaniement contemporain du dépôt. D'après M. Cayeux : « 1° Dès l'époque même de leur formation, les minerais oolithiques du Jurassique de France étaient composés comme ils le sont aujourd'hui. 2° La consolidation de ces niveaux s'est faite tellement vite qu'elle était achevée au moment de leur remaniement ». Leur transformation se serait effectuée sous la mer, et M. Cayeux n'hésite pas à conclure qu'il existe un véritable métamorphisme général d'origine sous-marine qui serait un des grands facteurs de la lithogenèse.

Il convient d'attendre, pour se prononcer sur la rectitude de cette conception, l'exposé des arguments dont M. Cayeux annonce la publication. Mais on peut considérer comme acquis que des transformations très importantes ont été contemporaines ou quasi contemporaines de la sédimentation, et croire que le progrès des études de lithologie des roches sédimentaires conduira à restreindre singulièrement l'emploi des longs espaces de temps auxquels on s'est habitué à recourir pour expliquer le passage des sédiments originairement meubles, à la catégorie des roches cohérentes.

Il est intéressant de juxtaposer aux conclusions de M. L. Cayeux celles que fournit à M. J. de Lapparent (3) l'étude

(1) Marcel Bellière, *L'existence de Spongolithes dans le houiller inférieur*. Ann. Soc. Scientif. Belg., t. XL, III, pp. 115-117.

(2) L. Cayeux, *Notion d'un métamorphisme général sous-marin, déduite du remaniement des minerais de fer oolithiques jurassiques, contemporain de leur dépôt*. C. R. Ac. Sc., t. 172, n° 8, p. 460. Paris, 1921.

(3) J. de Lapparent, *Le caractère épisodique des bancs du calcaire*

de la dolomitisation de certains bancs du Calcaire carbonifère du Boulonnais.

M. J. de Lapparent a relevé dans les calcaires viséens, exploités comme marbres, à la carrière du Haut-Banc, la présence de bancs incomplètement dolomitisés, constitués par la superposition de plusieurs lits alternativement calcaires et dolomitiques, disposés parallèlement à la stratification. Un banc dont la base est formée par une accumulation de *Lithostrotion et Syringopora*, fortement dolomitisés, se continue par un lit coquillier demeuré calcaire, puis par une couche oolithique indemne de toute dolomitisation. La base du banc immédiatement supérieur est formée de dolomie cristalline.

Des phénomènes de cette espèce suggèrent immédiatement l'idée d'une dolomitisation hâtive, contemporaine de la formation des couches, et « intimement liée aux épisodes qui ont été la cause de leur sédimentation » (1).

On a vu précédemment qu'en étudiant les blocs de phtanites dévoniens englobés dans la brèche de la région d'Hersbach, dans les Vosges d'Alsace, M. J. de Lapparent s'était vu dans la nécessité de conclure que les couches qui ont fourni ces blocaux avaient été consolidées avant la formation des sédiments qui les surmontent ou du moins avant le dépôt de toute masse importante de ceux-ci. Il y a plus, certains de ces phtanites ont été transformés en une cornéenne criblée d'aiguilles de pseudosillimanite, dont on trouve des fragments dans le conglomérat. Nous ne pouvons donc, dit M. de Lapparent, « échapper à cette idée que la consolidation des phtanites fut rapide, et que leur métamorphisme fut contemporain de l'époque de leur dépôt » (1).

Les temps géologiques ont-ils vraiment eu l'immense durée qu'on s'est accoutumé de leur attribuer ?

L'origine des Pétroles.

On sait que le mode de formation des hydrocarbures naturels a donné matière à des controverses prolongées,

carbonifère du Boulonnais et la dolomitisation de certains d'entre eux. C. R. Ac. Sciences, t. 172, avril 1922, p. 1053.

(1) J. de Lapparent, *Op. cit.*, Compte rendu du Congr. des Soc. Sav. de 1920. Paris, 1921.

entre les partisans de l'origine organique, sédimentaire, et les tenants de l'origine interne. Les chimistes, à la suite des beaux travaux de Berthelot, Mendelejeff, Moissan, Sabatier et Senderens, pour ne citer que les principaux, ont presque unanimement adhéré aux théories qui expliquent la genèse des pétroles par des réactions chimiques ayant leur siège dans la profondeur de l'écorce terrestre, au voisinage des masses magmatiques. Les recherches expérimentales de MM. Sabatier et Senderens, dont on se rappelle les beaux travaux sur la catalyse, ont fait reconnaître qu'en présence de l'hydrogène et d'un catalyseur tel que le nickel, le cobalt ou le fer réduits, on peut transformer l'acétylène en divers hydrocarbures, analogues à ceux qui constituent les pétroles.

En présence du nickel, à une température comprise entre 200 et 300 degrés, en opérant avec un excès d'hydrogène, ces savants ont obtenu un mélange d'hydrocarbures forméniques rappelant les pétroles d'Amérique, tandis qu'un excès d'acétylène déterminait la formation d'hydrocarbures forméniques et cycloforméniques, associés suivant le type des pétroles russes. Avec le cobalt ou le fer remplaçant le nickel comme catalyseur, on produit un mélange à odeur désagréable, offrant des analogies avec les pétroles du Canada.

Les géologues, à la suite des travaux de Potonié sur les dépôts sapropéliens, et d'Engler sur les produits de distillation des diverses matières organiques dont on peut admettre la présence dans ce genre de sédiments, s'étaient, il y a quelques années, rangés en grande majorité parmi les partisans de l'origine organique, qui leur paraissait cadrer mieux avec ce qu'on connaît des conditions de gisement des pétroles.

Dans ces derniers temps, les progrès des recherches physico-chimiques appliquées à la géologie, en éclairant d'un jour tout nouveau les phénomènes qui s'accomplissent dans la différenciation et la consolidation des magmas, ont attiré l'attention sur le rôle considérable qu'il convient de reconnaître aux gaz et aux vapeurs dans la constitution des systèmes très complexes que sont les masses magmatiques.

D'autre part, les travaux de MM. W. A. Tilden (1), R. T.

(1) W. A. Tilden. CHEMICAL NEWS, vol. LXXV, 1897, p. 169.

Chamberlin (1), Armand Gautier (2), Albert Brun (3), G. Pamfil et G. Beaume (4) sur la nature et l'origine des gaz que dégagent les roches endogènes, même très anciennes, lorsqu'on les porte à haute température, ont ouvert sur cette question, des horizons imprévus. En dehors des gaz dont l'étude relève exlusivement de la chimie inorganique, les hydrocarbures ont apparu, tout au moins à l'état de traces, dans presque toutes les roches étudiées.

Ainsi des granites, des syénites, des gabbros, des diorites, des diabases, examinés par R. T. Chamberlin, ont fourni de petites quantités de méthane. Le granite de Vire, exceptionnellement bien partagé, a donné au rouge, de 120 à 140 litres de ce gaz par mètre cube de roche. Les météorites pierreuses en contiennent parfois en quantité notable, mais les fers météoriques en paraissent exempts. Les roches volcaniques vitreuses sont parfois très riches. Ainsi une ponce du Pichincha (Équateur), a fourni à M. A. Brun, 82 gr. de paraffine par tonne ; une obsidienne du Mexique a dégagé 153 grammes d'hydrocarbures par tonne. Des cendres du Vésuve, fraîchement tombées, traitées par le chloroforme, ont abandonné des hydrocarbures.

Enfin, la présence de méthane dans les gaz d'origine volcanique est bien connue : rappelons que Moissan, analysant les gaz recueillis en 1902 par M. Lacroix à la Montagne Pelée, y a rencontré 5,4 % de méthane, associé à divers gaz parmi lesquels dominaient l'azote, l'anhydride carbonique et l'oxygène.

Impressionnés par l'universalité de la diffusion des hydrocarbures dans les roches endogènes, cristallines ou vitreuses, par leur présence dans les produits gazeux des volcans, et surtout par l'énorme quantité d'huile minérale fournie par certains sondages, quelques géologues, forts de l'appui des

(1) R. T. Chamberlin. *Gases in Rocks. Contribution to Cosmogeny*, 1908.

(2) C. R. Ac. des Sc., t. CXXXI, 1900, p. 647 ; t. CXXXII, 1901, p. 58.; t. CXXXVI, 1903, p. 16.

(3) Albert Brun, *Recherches sur l'Exhalaison volcanique*, Genève, 1911.

(4) G. Pamfil et G. Beaume, *Contribution à l'étude des gaz des roches*. Annuaire Institut Géolog. de Roumanie, 1912.

chimistes, ont été récemment amenés à tenter de détrôner la théorie de l'origine sapropélienne pour remettre en honneur celle de l'origine interne.

Invité en 1921 à faire sur cet objet un cours en Sorbonne, M. Louis Mrazek, Directeur de l'Institut Géologique de Roumanie, professeur à Bucarest, un des spécialistes les plus distingués de la géologie du pétrole, théoricien très averti en même temps que praticien expérimenté, vient de commencer la publication de ses leçons dans un des derniers numéros des Annales des Mines de Roumanie (1).

Il s'y prononce nettement contre la théorie de l'origine interne. Après avoir procédé à un recensement attentif des divers faits invoqués par les partisans de la doctrine qu'il combat, M. Mrazek reconnaît de bonne grâce que les hydrocarbures gazeux, liquides ou solides sont très répandus dans les zones de l'écorce terrestre où s'observent les phénomènes intramagmatiques, apomagmatiques et périmagmatiques (2), dans les roches éruptives et dans les dépôts de profondeur des eaux juvéniles ; ils sont en général en petites quantités, voire même à l'état de traces, dans ces différentes roches, soit en inclusion, soit en occlusion, soit en état d'absorption. Mais M. Mrazek n'admet en aucune manière que cette constatation suffise à expliquer la genèse des gisements de pétrole; son opinion s'appuie sur une argumentation très solide, dont on trouvera ci-après un court résumé.

D'abord, ni au contact des roches cristallines d'origine, profonde, ni au contact des nappes éruptives d'épanchement, et des roches sédimentaires, on n'a jamais rencontré de traces de concentration d'hydrocarbures, pas plus que dans les formations d'origine hydrothermale. La répartition géographique des gisements importants d'hydrocarbures fait ressortir une remarquable coïncidence des régions pétrolifères avec les zones géosynclinales, et non avec des provinces pétrographiques éruptives.

On connaît cependant au Mexique, à Sumatra, en Californie, des gisements de pétrole, traversés par des filons ou

(1) ANNALES DES MINES DE ROUMANIE, 5e année, n° 3, mars 1922.

(2) Terminologie de P. Niggli et A. Bergeat.

des cheminées éruptives, mais il a été établi pour tous ceux d'entre eux qui ont été étudiés, que les formations d'origine interne sont plus jeunes que les couches pétrolifères qu'elles recoupent. A Sumatra et à Timor, le pétrole, au voisinage de la roche éruptive, présente même des traces patentes de métamorphisme de contact. L'étude géologique des gisements connus ne fournit donc aucun appui solide à l'hypothèse de la formation endogène des hydrocarbures accumulés dans les grands gisements.

L'association constante d'eaux salées au pétrole des gisements importants est encore un fait dont il faut tenir compte; parmi les eaux minérales auxquelles on peut raisonnablement attribuer le caractère d'eaux juvéniles, on ne connaît pas d'eaux salées. Il est bien vrai que certaines sources thermales ou carbonatées contiennent du chlorure sodique, mais une étude attentive a montré qu'elles traversent des formations sédimentaires salifères, qui leur fournissent le sel dont elles sont chargées. Pour M. Mrazek, les eaux salées associées au pétrole sont des eaux fossiles, et il leur attribue un rôle important dans la genèse des hydrocarbures.

Enfin, en ce qui regarde l'argument que les tenants de l'opinion adverse tirent des quantités énormes de pétrole et d'hydrocarbures divers emmagasinées dans certains gisements, M. Mrazek fait remarquer que plusieurs des districts pétroliers les plus importants sont manifestement en voie d'épuisement, et que, tout bien considéré, la quantité totale de pétrole contenue dans l'écorce terrestre est plutôt restreinte. Depuis 1857, date du début de l'extraction industrielle du pétrole, jusqu'à la fin de 1913, la production mondiale a été de 692 millions de tonnes. De 1913 à 1921 on a extrait cinq à six cents millions, soit au total environ 1250 millions de tonnes, et l'on pourrait évaluer à cinq ou six millions de tonnes, la quantité de pétrole dont la présence a été reconnue.

Si l'on met en regard de ces chiffres les données concernant les gisements de charbon, on voit qu'en 1913 seulement, 1500 millions de tonnes ont été extraites, et que depuis 1880 l'ensemble des mines exploitées en a fourni plus de trente milliards, tandis que les réserves reconnues dépassent sept trillions de tonnes. Ces chiffres n'ont pourtant jamais amené personne à nier l'origine organique du charbon.

Il conviendrait d'ajouter à ces considérations l'argument fourni par la composition chimique des pétroles, qui contiennent souvent parmi leurs nombreux constituants, des combinaisons azotées et des corps doués de pouvoir rotatoire ; les uns et les autres sont ordinairement considérés comme des produits de la décomposition de matières organiques ou de l'activité des êtres vivants.

Cette première partie des leçons de M. Mrazek ne peut qu'inspirer un vif désir d'en voir paraître la suite. Elle suffit toutefois à justifier amplement la conclusion qui la termine, qui est qu'aucune relation d'origine n'a pu être établie entre les produits gazeux d'origine éruptive et le pétrole ou les hydrocarbures que l'on rencontre en général dans les roches sédimentaires.

STRATIGRAPHIE

L'étage tournaisien dans le Boulonnais.

On a longtemps supposé, faute de pouvoir observer le contact entre le sommet du Famennien et la base du Dinantien dans le Boulonnais, que la Dolomie du Huré, que l'on rangeait tout entière dans le Viséen, et qui constituait le niveau le plus ancien qui ait été reconnu, reposait immédiatement sur les psammites condrusiens, dont elle était séparée par une lacune correspondant au Tournaisien.

En 1911, MM. H. de Dorlodot et A. Salée, en découvrant des fossiles d'âge tournaisien supérieur dans la partie inférieure de la dolomie du Huré, montrèrent que s'il existait une lacune, il y avait lieu d'en réduire notablement l'importance. Un très intéressant travail de MM. Pruvost et Delépine vient d'établir que le Tournaisien inférieur est représenté dans le Boulonnais, où, par conséquent, il n'y a pas de raison de maintenir une lacune entre le sommet de la série néo-dévonienne et la base du Dinantien (1).

Les couches qui, dans cette région, représentent le Tournaisien inférieur ne sont pas renversées. Elles ont été ren-

(1) P. Pruvost et G. Delépine. *Observations sur la faille d'Hydrequent et sur les couches de base du Carbonifère dans le Bas-Boulonnais.* Bull. Soc. Géol. de France, 4e série, t. XXI, 1921, pp. 189-206.

contrées dans un petit lambeau de poussée pincé entre deux branches de la faille d'Hydrequent dans la carrière Hénaux située dans la Vallée Heureuse (commune de Rinxent.) Leur âge tournaisien inférieur est incontestablement établi par la présence d'une faune riche, contenant d'abondants spécimens de *Spirifer Tornacensis* de Kon. associés à *Productus Burlingtonensis* Hall, *Chonetes Hardrensis* Phill, *Michelinia favosa* Goldf., *Zaphrentis Konincki* M. E. et H., *Zaphrentis Omaliusi* M. E. et H.

Un sondage effectué de 1903 à 1907 à l'entrée même de la carrière Hénaux, pour la recherche du prolongement méridional du terrain houiller d'Hardinghen, a recoupé ces mêmes couches entre 948 m. et 971 m.50 de profondeur, soit à environ 915 mètres sous le niveau de la mer. Les carottes, conservées à l'Institut de Géologie de Lille, établissent l'identité de la faune, des caractères lithologiques et de la position stratigraphique avec l'écaille de la carrière Hénaux. Mais il s'agit ici de couches en place, reposant sur les psammites par l'intermédiaire d'un banc de grès feldspathique et d'un mince lit de galets de quartz blanc dans une pâte schisteuse.

La composition du Tournaisien du Boulonnais, telle que MM. Pruvost et Delépine viennent de la faire connaître, offre des analogies frappantes avec celle du Tournaisien du Synclinal de Namur. L'extension verticale de la dolomie du Huré, mi-tournaisienne, mi-viséenne, est sensiblement la même que celle de la dolomie de Namur, sur la bordure Sud et dans la partie orientale du bassin. Elle va du voisinage de la base du Tournaisien inférieur jusqu'en dessous des calcaires oolithiques à *Productus Cora* du Haut-Banc, c'est-à-dire qu'elle monte dans le Boulonnais un peu moins haut qu'à Marche-les-Dames, et un peu plus haut qu'à Malonne et qu'à Aisémont, où les couches à *Productus Sublaevis* sont encore calcareuses.

Les poudingues à pâte claire, dits Couviniens, du Bassin de Dinant.

D'après la légende de la Carte géologique de Belgique, édition de 1909, la composition du Couvinien inférieur est ainsi arrêtée : Dans la bordure Sud du Bassin de Dinant, à la base, la Grauwacke à *Spirifer Arduennensis*, puis les schistes calcareux à *Spirifer Cultrijugatus ;* au Nord, des schistes rouges,

psammites et grès, avec, à la base, un poudingue à ciment clair (Poudingue de Tailfer et du Caillou-qui-bique).

Les spécialistes du Dévonien ont admis depuis longtemps que la Grauwacke à *Sp. Arduennensis* doit être détachée du Couvinien et rangée au sommet de l'Emsien. Un très remarquable travail de M. Asselberghs vient d'établir que le même déplacement s'impose pour le poudingue du Caillou-qui-bique et les poudingues à ciment clair considérés jusqu'ici erronément comme de même âge que le poudingue de Tailfer. Tels sont les poudingues de Wéris, de Remouchamps et le Mur du Diable.

Le passage latéral du facies typique de la Grauwacke à *Sp. Arduennensis* au facies littoral a été observé par M. Asselberghs à partir des environs de Jemelle, où apparaissent des bancs épais de grès graveleux contenant des cailloux sporadiques. Ces bancs passent vers le Nord-Est au complexe connu sous le nom de Poudingue de Wéris, dans lequel se rencontrent des conglomérats à ciment tantôt clair, tantôt rouge, et des schistes lie de vin (1).

Au Caillou-qui-bique, l'étude de la faune des couches recueillies au-dessus du poudingue a montré à M. Asselberghs que l'assise à *Sp. Cultrijugatus* seule trouve son équivalent dans les couches fossilifères notées en cet endroit Co a.. Si la Grauwacke à *Spirifer Arduennensis* est représentée en cet endroit, ce ne peut être que par des couches à facies littoral, rangées au sommet du Burnotien.

Le caractère couramment usité que l'on tire de la couleur du ciment des poudingues couviniens et burnotiens pour les distinguer l'un de l'autre, n'a pas l'importance qu'on lui attribuait. Au Caillou-qui-bique, où il existe trois bancs de poudingue, les deux premiers sont à pâte claire, tandis que le troisième, le plus proche du Couvinien, est à pâte rouge (2). Il y a lieu de les placer tous trois au sommet de l'Emsien.

L'âge des schistes de Mondrepuis, de l'Arkose de Haybes et du poudingue de Fépin.

La faune des schistes fossilifères de Mondrepuis renferme,

(1) Et. Asselberghs, *Age de la Grauwacke de Rouillon et des Poudingues Couviniens et Burnotiens.* Bull. Soc. Belge Géol., Pal. Hydr., t. XXXI, p. 29-36, 1921.

(2) Et. Asselberghs, *loc. cit.*, p. 33, note infrapaginale.

d'après M. Leriche (1), une très grande majorité d'espèces siluriennes, dont aucune ne dépasse le sommet du Gothlandien. Une seule, *Bellerophon trilobatus* Sowerb, passe dans le dévonien inférieur : une autre, *Orthis* (*Proschizophoria*) *personata* Zeiler) Kayser, n'était connue qu'à la base du Coblentzien inférieur. M. Leriche en a conclu que la partie inférieure du Gedinnien, comprenant le poudingue de Fépin, l'arkose de Haybes et les schistes de Mondrepuis, doit être rangée dans le Silurien supérieur ou Gothlandien, et la fréquence de *Grammysia cingulata* et de *Pterinea retroflexa*, jointe à la présence d'*Acaste Downingiae* var. *spinosus* dans les schistes de Mondrepuis, doit faire rattacher ces couches au niveau du Ludlow supérieur.

La limite entre le Silurien et le Dévonien de l'Ardenne, doit donc être déplacée, et reportée à la base des schistes bigarrés d'Oignies, qui représenteraient, en Ardenne, la base de l'Old Red Sandstone.

L'existence d'une discordance importante entre le Cambrien et le Gedinnien de l'Ardenne ne paraît pas constituer un obstacle à ce déplacement. « Les discordances, écrit M. Leriche, ont, dans la géologie locale, une importance considérable, mais elles ne peuvent entrer en ligne de compte dans la délimitation des grands groupes » (2).

Ces conclusions, auxquelles M. Maillieux s'est rallié (3), n'ont pas été accueillies sans controverses. Les gîtes fossilifères n'étant pas très nombreux dans le Gedinnien, où ils sont d'ailleurs tous localisés dans les schistes de Mondrepuis, un vif intérêt s'est attaché à l'étude de couches de même âge, rencontrées au Puits n° 6 de Liévin. Des grès bleuâtres calcarifères qui surmontent en concordance des couches à *Daya Navicula*, ont fourni une faune abondante, dont les lamellibranches, gastropodes, ptéropodes, les entomostracés et les trilobites ont été étudiés par M. Leriche (4), tandis

(1) M. Leriche, *La Faune du Gedinnien inférieur de l'Ardenne*. Mém. Mus. Royal Hist. Nat. de Belgique, t. VI, 1912.

(2) *Op. cit.*, p. 54.

(3) E. Maillieux, *A propos de quelques fossiles des Schistes néo-siluriens de Mondrepuis*. Bull. Soc. Belg. Géol., Pal., Hydr., t. XXVI, 1912, pp. 7-9.

(4) M. Leriche, *Les Lamellibranches, Gastropodes, Ptéropodes (Conularida), Ostracodes et Mérostomes de la faune siluro-dévo-*

que les autres organismes étaient réservés à M. Ch. Barrois et à ses élèves.

L'éminent professeur de Lille vient de publier, en collaboration avec MM. P. Pruvost et G. Dubois, un mémoire où il exprime une opinion ferme sur l'âge des couches en litige (1). D'après M. Barrois, il n'y a pas lieu de déplacer la limite. On se souviendra que déjà en 1912 (2) M. le chanoine de Dorlodot avait fait valoir, en faveur de la même opinion, divers arguments d'inégale valeur, parmi lesquels celui-ci, souligné par l'auteur lui-même dans le texte : « Le Gedinnien inférieur de l'Ardenne nous fournit *le premier indice de la grande transgression, qui est la vraie raison d'être du Dévonien, comme système distinct du Silurien* ».

Cet argument nous paraît posséder une grande force.

Un géologue anglais, M. L. D. Stamp, vient de se rallier à son tour à l'opinion défendue par M. de Dorlodot, M. Barrois et ses élèves, dans un travail intitulé : « La base du système dévonien en Angleterre » (3).

Les caractères paléontologiques des couches de passage (Passage beds) observées dans le Shropshire entre le sommet de l'étage de Ludlow et le Dévonien à facies lagunaire paraissent à M. Stamp cadrer mieux avec la première qu'avec la seconde des limites admises successivement par Murchison qui a le premier défini le vieux grès rouge et le Silurien. Il propose les synchronisations indiquées au tableau ci-après (p. 214).

D'autre part, le même fascicule du BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE contient une note dans laquelle M. M. Leriche conteste toute valeur probante aux arguments invoqués par M. Stamp. M. Leriche estime que jusqu'ici, il n'existe aucune raison de rejeter la limite adoptée par Murchison en 1843 et dans ses travaux ulté-

nienned e Liévin (Pas-de-Calais). MÉM. DE LA SOC. GÉOL. DU NORD, t. VI, mém. 2, pp. 37-64, pl. V-IX, 1921.

(1) J. Gosselet, Ch. Barrois, M. Leriche, P. Pruvost, G. Dubois, *Description de la faune siluro-dévonienne de Liévin*. MÉM. SOC. GÉOL. DU NORD, t. VI, 1922.

(2) H. de Dorlodot, *Sur la limite inférieure du Dévonien*. BULL. SOC. BELG. DE GÉOL., PAL., HYDR., t. XXVI, 1912, p. 63.

(3) BULL. SOC., BELGE DE GÉOL., PAL., HYDR., t. XXXI, 1921, 2e fascicule paru le 22 juin 1922, pp. 87-97.

		SHROPSHIRE	ARTOIS	ARDENNE	
DÉVONIEN	DITTONIEN	Schistes et grès rouges à *Pteraspis rostrata*, *Pt. Crouchi* et *Cephalaspis Lyelli*.	Schistes et grès de Pernes à *Pteraspis rostrata*, *Pt. Crouchi*, *Pt. Traquairi* et *Cephalaspis Lyelli*.	Schistes d'Oignies et de Fooz, à *Pt. rostrata* et *Pt. Traquairi*.	GÉDINNIEN SUPÉRIEUR
	DOWNTONIEN	Red Downtonien à *Cyathaspis* (?) *Barroisi*.	Psammites de Liévin à *Cyathaspis Barroisi*.	Schistes de Mondrepuis.	GÉDINNIEN INFÉRIEUR
		Schistes de Temeside, grès de Downton et schistes à *Platyschisma*.	Schistes à Tentaculites de Méricourt.	Arkose de Haybes.	
		Ludlow Bonebed.	Arkose de Bois-Bernard.	Conglomérat de Fépin.	
SILURIEN (UPPER-LUDLOW-GROUP)		Couches à *Chonetes*.	Grauwacke de Drocourt.		

rieurs (1). Cette limite se place sous les « Passage beds », c'est-à-dire sous le Downtonien tel que l'a défini M. Stamp (2).

L'accord n'est donc nullement réalisé entre les spécialistes compétents. Peut-être aurons-nous l'occasion de revenir sur cette question l'an prochain, dans un article plus étendu.

Contact du Westphalien inférieur sur le Viséen à Visé.

Le Viséen mis a découvert dans les carrières de Visé se termine vers le haut par un calcaire massif, bréchoïde ou

(1) M. Leriche, *Observations sur la limite entre le Silurien et le Dévonien — en Angleterre, dans le Nord de la France et en Belgique, — à propos d'une note de M. Stamp*. Bull. cité, pp. 158-166.

(2) L. D. Stamp, Géol. Mag., t. VII (1920), p. 104.

zonaire, appartenant au niveau à *Productus giganteus*, qui doit être rangé dans la partie moyenne (D2) de la zone à *Dibunophyllum* d'Arthur Vaughan.

Ce calcaire est surmonté par un complexe de roches siliceuses ou silicifiées, où se rencontrent des alternances de phtanites en bancs minces, avec des schistes noirs ou gris. Les allures relevées au contact des deux formations, rapprochées des données du sondage de Chertal ont paru à M. M. Lohest (1) devoir être interprétées comme des indices d'une période d'émersion, suivie d'une transgression, qui se placerait entre le sommet du Dinantien et la base du Westphalien.

M. G. Delépine, en étudiant très soigneusement la faune de ces diverses couches (2) a reconnu l'existence dans les phtanites et les schistes attribués jusqu'ici au Westphalien inférieur, d'une faune abondante, contenant notamment *Productus latissimus*, qui appartient à la partie la plus élevée de la zone à *Dibunophyllum* (D2-D3). Les couches siliceuses qui contiennent cette faune, ou tout au moins une partie d'entre elles, ont vraisemblablement été déposées à l'état de calcaire, et silicifiées après leur dépôt. Notre savant confrère conclut de ses observations d'ordre paléontologique, qu'à Visé, il n'y a point d'hiatus entre la faune du calcaire massif et celles des couches qui le surmontent. L'hypothèse d'une lacune d'importance notable à ce niveau n'est donc guère probable, et s'il en existait une, ce n'est pas entre le Dinantien et le Westphalien qu'elle se placerait mais entre la partie moyenne et la partie supérieure de la zone à *Dibunophyllum*.

Reste à expliquer les anomalies et les allures discordantes qui s'observent au voisinage du calcaire massif. L'existence de ces allures n'est pas contestée, mais peut s'interpréter de diverses manières. On a vu plus haut ce qu'en pensait M. Lohest avant d'avoir connaissance des trouvailles paléontologiques de M. Delépine. Personne ne contestera d'autre

(1) M. Lohest, Ann. Soc. Géol. de Belg., t. XLII, B, p. 215.

(2) G. Delépine, *Les Formations supérieures du Calcaire carbonifère à Visé*. Ann. Soc. scientif. Brux., octobre 1921, pp. 114-123.

part, qu'on puisse invoquer l'intervention de phénomènes de dissolution qui, en faisant disparaître une partie du calcaire sous-jacent, auraient provoqué la descente des couches supéri ures en produisant une pseudo-discordance. M. Delépine cite des faits de ce genre qu'il a étudiés dans la carrière du Cornet, à Chercq, près de Tournai. Nous avons nous-même figuré autrefois de très curieuses allures observées dans des poches de dissolution creusées dans des calcaires sableux de l'Assise d'Etroeungt à Feluy (1).

M. Delépine préfère une autre explication. Les apparences constatées se produiraient en règle générale, toutes les fois qu'un calcaire en bancs minces se superpose immédiatement à un calcaire massif : ainsi en serait-il des calcaires massifs Waulsortiens, des *Knolls* et des *Brachiopod-beds* du Dinantien d'Angleterre, des récifs coralliens de tout âge, et du calcaire massif qui termine vers le haut les calcaires de Visé.

TECTONIQUE

La faille d'Hydrequent. — Le massif paléozoïque du Boulonnais, pour exigu qu'il soit, montre la trace d'importantes dislocations : Gosselet avait établi que le Dévonien y chevauche le Dinantien et que ce dernier a lui-même été transporté vers le nord à la faveur d'une faille inverse qui le superpose au Westphalien. Il avait appelé faille d'Hydrequent la plus méridionale des failles reconnues.

En poursuivant l'étude stratigraphique du Dinantien, MM. Pruvost et Delépine (2) ont été amenés à reprendre l'étude de cet accident, qui leur a fourni des résultats du plus haut intérêt.

L'accident d'Hydrequent est une faille composée, et la bordure méridionale du Boulonnais est formée d'un système d'écailles empilées, qui ont glissé l'une par rapport à l'autre vers le Nord. Les failles qui limitent inférieurement chaque écaille sont d'autant plus inclinées qu'elles sont situées plus au Sud. Elles paraissent bien n'être que des branches

(1) F. Kaisin, Ann. soc. scientif. de Brux., 30e année, seconde partie, 1906, fig. I, fig. II, et pl. III.

(2) *Op. cit.*, pp. 203-205, fig. 5 et pl. XI.

de la faille d'Hydrequent, qu'elles doivent rejoindre en profondeur.

L'analogie avec la structure du bord sud du Bassin de Namur est évidente.

MM. Pruvost et Delépine font observer que les terrains dont sont formés les lambeaux de poussée qu'ils ont étudiés, sont d'autant plus anciens qu'il s'agit de lambeaux plus méridionaux. Leurs recherches fournissent donc un nouvel exemple d'application de la loi énoncée par Briart en 1896 (1) à propos des failles qui découpent le bord sud du synclinal de Namur : « Ces accidents tectoniques sont d'autant plus anciens qu'il sont situés plus au nord ». M. le Chanoine de Dorlodot en 1898 a exprimé la même loi sous une autre forme : « En général, on peut reconnaître l'âge relatif de ces failles à leur ordre de superposition, les plus anciennes étant les plus inférieures » (2).

Une coupe horizontale jointe au mémoire de MM. Pruvost et Delépine fait voir une inflexion assez brusque de la ligne de faille, au droit d'un petit massif de dolomie et de calschistes tournaisiens pincé entre ses lèvres. Nos confrères en concluent que ce minuscule lambeau de poussée « a visiblement constitué une saillie au-dessus de laquelle s'est moulée la surface de la faille d'Hydrequent qui l'a chevauché ». Ce lambeau, au cours de son transport vers le Nord, est resté collé par sa base à la branche inférieure de la faille, provoquant ainsi la naissance de la branche supérieure, qui l'enveloppe. Ce fait aussi est une confirmation de la loi de Briart.

Le sel dans les plis diapiriques (3).

Le sel gemme de la région carpathique apparaît sous la forme de massifs lenticulaires ou amygdaloïdes, souvent très

(1) A. Briart. *Géologie des environs de Fontaine-l'Évêque et de Landelies.* Ann. Soc. Belg. de Géol., t. XXI, 22e année, seconde partie.

(2) H. de Dorlodot. *Genèse de la Crête du Condroz et de la Grande-Faille.* Ann. de la soc. scientif. de Brux., 1898, p. 40.

(3) Ce terme a été dérivé par M. Mrazec, du verbe διαπειρω qui signifie transpercer. Il est généralement mal orthographié par les auteurs : on peut rencontrer l'orthographe *diapir, diapire, diapyr ou* même *dyapir!* M. G. Murgoci emploie comme nous le terme de pli diapirique (en anglais *diapiric fold).*

épais, dans le noyau d'anticlinaux à structure très spéciale, pour lesquels M. Mrazec a créé le nom de plis diapiriques. Les flancs de ces plis, généralement constitués par des couches douées d'une faible résistance à la déformation, ne se rejoignent pas par-dessus le massif de sel : celui-ci, agissant comme un coin résistant, s'est déplacé suivant la surface axiale, en traversant successivement ses diverses enveloppes, qui viennent s'appliquer contre lui, ou plutôt contre une masse de brèche d'origine dynamique, qui constitue au sel une sorte de manteau. Les éléments de cette brèche sont empruntés aux terrains traversés par le noyau dans sa marche ascendante. On y a reconnu des blocaux de schistes cristallins, des roches éruptives, des calcaires, des grès, des marnes et des schistes argileux. On peut, *mutatis mutandis*, comparer l'action des poussées orogéniques sur le noyau des plis diapiriques, à celle des doigts expulsant le noyau d'un fruit mou à travers la pulpe.

Il suit de là que l'Helvétien de la Région Subcarpathique au travers duquel de nombreux massifs de sel se sont frayé passage, a usurpé son nom de Miocène salifère. Le sel est d'origine profonde, et sa situation actuelle est due à des causes d'ordre tectonique.

Dans les Subcarpathes méridionales, l'échelle stratigraphique s'étend de l'Infracrétacique au Quaternaire : dans toutes les formations qui y figurent, il existe des massifs de sel qui y sont demeurés pincés.

De plus, certains de ces massifs sont surmontés de véritables « Klippes » formées de roches anté-miocènes, qu'ils ont entraînées dans leur mouvement d'ascension. A Bustenari, le sel porte un lambeau oligocène, à Slanic, une « Klippe » éocène ; à Podenii Noi (Prahova), outre de nombreux blocs cristallins, on a trouvé sur le massif de sel, une masse de 760 mètres de calcaire appartenant au Jurassique et au Néocomien. Le gisement d'origine du sel des régions carpathiques est donc inférieur à ces formations.

Les massifs de sel de la Galicie et de la Roumanie sont arrivés au jour, ou au voisinage de la surface, à la faveur d'importantes dislocations, en se frayant un passage à travers des formations d'âge très divers : leur position actuelle n'est pas stratigraphique, mais tectonique, et, comme telle, elle

ne peut aucunement servir à la détermination de l'âge de la véritable formation salifère, qui n'est certainement pas le Miocène (1). En se déplaçant vers la surface, le sel a ouvert la voie au pétrole, qui a suivi les mêmes dislocations, imbibant au passage toutes les roches poreuses recoupées. La liaison tant de fois remarquée entre les massifs de sel et les gisements de pétrole des Carpathes est également d'ordre tectonique (2).

Les nappes de charriage des Carpathes Roumaines.

La structure tectonique des Carpathes orientales et méridionales, grâce aux travaux de la pléiade de géologues roumains groupés autour de MM. Mrazek et Murgoci, commence à être bien connue. M. I. P. Voitesti vient d'en donner un aperçu synthétique dans un numéro spécial des ANNALES DES MINES DE ROUMANIE publié à propos d'un congrès national d'ingénieurs des mines tenu à Bucarest en 1921 (3).

Cette région de la Chaîne Carpathique offre un intérêt considérable. Des poussées orogéniques y ont déformé les strates depuis une époque très reculée (précambrienne) jusque tout à la fin du Pliocène et peut-être au début du Quaternaire.

Les plis les plus anciens dont on ait reconnu l'existence avec certitude appartiennent à l'Arc Varisque, dont un segment, partant des Sudètes et des Monts de Sandromir, se rattacherait, par-dessus les Carpathes et la Plaine Roumaine, aux Monts de Macin en Dobrogea puis, par-dessous la mer Noire, au Caucase occidental, en passant probablement par la Crimée méridionale, dont elle formerait le soubassement. D'après M. Murgoci, cette chaîne se serait dressée à peu près exactement sur l'emplacement d'anciens plis précambriens, qui auraient déterminé sa direction vers le N.-O. ou l'O.-N.-O., qui est parallèle à celle des plissements précambriens de la plateforme russe.

(1) Dr. I. Popescu-Voitesti, *Op. cit.*, p. 304-306.

(2) Dr. I. P. Voitesti. *Sur l'origine du sel et les rapports tectoniques des massifs de sel avec les gisements de pétrole en Roumanie.* BULL. SOC. GÉOL. DE FRANCE, sér. 4, t. XXI, pp. 48-57, Paris, 1921.

(3) ANNALES DES MINES DE ROUMANIE, 4e année, nos 7-9, août-septembre 1921, pp. 751-821.

La Chaîne Varisque, dans cette région, aurait donc les caractères d'une chaîne posthume. Elle a d'ailleurs elle-même revécu par la surrection de la Chaîne Cimmérienne, qui est venue occuper le même emplacement à l'époque mésocrétacique, et se prolonge comme elle vers la Crimée méridionale et le Caucase.

Dans les Carpathes du Sud, une importante poussée orogénique, qui a débuté durant l'Aptien, a déterminé la formation d'un immense pli couché dont le noyau schistocristallin s'entourait d'une enveloppe composée de couches jurassiques et infracrétaciques ; ce pli, bientôt transformé en nappe de charriage, a recouvert la région traversée par le Danube aux Portes de Fer, les Monts de Lotru, de Szebes et de Fagarash et a poussé son front jusqu'aux environs de Sinaïa. L'érosion y a isolé sur le cristallin, des « Klippes », mésozoïques sans racines, et ouvert des fenêtres sur les terrains autochtones.

Le Danube entre Baziash et Turnu Severinu traverse une de ces fenêtres, où l'on voit le Cristallin charrié reposer sur du Mésozoïque en place. Dans les Carpathes Orientales, on a constaté l'existence de plusieurs nappes superposées, se chevauchant l'une l'autre vers l'extérieur de la chaîne.

Ce sont, de l'Ouest à l'Est, la nappe du conglomérat des Bucegi, la nappe du grès carpathique ou grès de Siriu, la nappe nummulitique du grès de Fusaru, et la nappe nummulitique marginale, qui chevauche le Miocène de la région des Collines Subcarpathiques.

Les poussées auxquelles sont dus ces chevauchements ont débuté à la fin de l'Oligocène, par l'esquisse des principales lignes anticlinales. Leur paroxysme date de la fin de l'Helvétien : c'est alors que les plis précédemment ébauchés ont été transformés en nappes de charriage.

La dernière poussée date de la fin du Pliocène. M. G. Murgoci m'a montré, naguère, aux environs de Câmpinâ, un pli anticlinal déjeté dans les couches à *Elephas Meridionalis*.

Dans les Collines Subcarpathiques, la direction moyenne des plis les plus récents coupe sous un angle de 15 à 20 degrés celle des plis miocènes.

Ce sont ces dernières poussées qui ont déterminé l'ascension des noyaux de sel dans les plis diapiriques.

La structure générale de la Chaîne Carpathique est celle d'une zone plissée, déversée vers le bord externe de l'arc qu'elle décrit, et effondrée sur sa bordure interne, que limitent aujourd'hui au Sud et au Sud-Est la Dépression Gétique, la Plaine Roumaine (Dépression du Baragan) et la Dépression Moldo-Bessarabienne.

La zone plissée est formée de trois bandes qui sont venues successivement s'accoler au bord externe de l'Arc montagneux Ce sont : La Chaîne Dacienne, qui date du Crétacique inférieur, la zone du Flysch Carpathique, plissée durant le Miocène, qui est chevauchée par la Chaîne Dacienne et chevauche à son tour les Collines Subcarpathiques, qui forment la troisième bande.

Les plis des Subcarpathes eux-mêmes, à la fin du Pliocène, ont chevauché l'avant-pays effondré.

Le sol des régions affaissées a continué tardivement son mouvement de descente. Un sondage pratiqué dans le Baragan a rencontré le Quaternaire à 27 mètres sous le niveau de la Mer Noire. Le thalweg du Danube, dans la partie inférieure de son cours, descend souvent à la cote de -25. Il y a des raisons de croire que la stabilité complète n'est pas encore atteinte, et que le mouvement de descente se continue lentement de nos jours.

F. Kaisin.

Louvain, le 15 juin 1922.

III

HYGIÈNE ET INDUSTRIE ALIMENTAIRES

—

Les aliments. — Le fonctionnement régulier de nos organes, ainsi que leur entretien et leur développement, nécessitent un apport suffisant d'éléments énergétiques, et en partie plastiques.

Jusque dans ces derniers temps, on considérait comme indispensable la consommation journalière d'un ensemble

d'aliments capable de fournir à l'économie 32-33 calories au moins par kilogr. de poids normal du corps s'il s'agissait d'un homme au repos, et 37-41 à 47-70 calories s'il s'agissait d'un homme se livrant à un travail modéré ou à un travail fatigant à des degrés divers ; ces aliments devaient d'ailleurs contenir 1 gr. ou 1,5 gr. de matières protéiques pour 1 kilogr. de poids normal du corps, au repos ou au travail (1). Beaucoup d'hygiénistes étaient d'avis que la ration alimentaire devait, en outre, renfermer environ autant de corps gras que de protéiques, cette proportion étant requise pour l'utilisation économique et non toxique de ces derniers, et le développement du canal alimentaire de l'homme nécessitant en fait la présence d'une quantité considérable de graisse. D'aucuns ajoutaient que, parmi les autres principes alimentaires, ordinairement désignés en bloc sous le nom d'hydrates de carbone, il était désirable de voir les sucres intervenir pour une part notable, soit un dixième environ ; et que l'alcool, particulièrement l'alcool fortement dilué sous forme de bière ou de vin, pouvait être utilement consommé par les adultes jusqu'à concurrence de 0,5 à 1 gr. par kilogr. de poids du corps. Le nombre de calories minimum, nécessaire par 24 heures à l'homme de poids normal moyen, était évalué comme suit :

Homme immobile, bien vêtu, à jeun (ration de fond) :	1.600 calories.
Homme au repos, en chambre,	2.200 »
Homme dans des conditions d'activité moyenne,	3.000 »

En admettant que 1 gr. de matières protéiques brûlé dans l'économie y développe 4,4 calories, 1 gr. de graisse 9,3 calories, et 1 gr. d'hydrates de carbone 4,15 calories, ces 3.000 calories devaient être fournies à l'organisme par environ :

80 gr. de matières protéiques (80 × 4,4 = 350 calories).
70 gr. » » grasses (70 × 9,3 = 650 »).
480 gr. » » hydrocarbonées (480 × 4,15 = 2000 » (2).

(1) Bull. Académie Royale de médecine de Belgique, 1920, p. 457.

(2) Bull. de l'Office international d'hygiène publique, 1919, pp. 320 et 647 ; 1920, pp. 303 et 1128.

D'après des données statistiques recueillies çà et là, notre consommation de denrées alimentaires était en Belgique, avant la guerre, par habitant et par jour, à peu près la suivante :

Viandes, poissons, œufs, fromages	160	gr.
Lait	180	»
Beurre, graisses, huiles	29	»
Farines, pains, etc.	600	»
Légumes et fruits	460	»
Sucres, confitures, etc.	43	»
Condiments et aromates divers	52	»
Eau et boissons diverses	1700	»

Si l'on admet que l'intestin utilise environ 83 p. c. des matières protéiques, 90 p. c. des corps gras et 95 p. c. des hydrates de carbone qui lui parviennent, cette ration, contenait à peu près :

Matières protéiques utiles	90	gr.
Corps gras »	55	»
Hydrates de carbone »	525	»

Elle fournissait à l'organisme 366 + 511 + 2178 = 3085 calories.

Aujourd'hui, les physiologistes expriment la dépense énergétique en fonction de l'unité de surface du corps, non plus en fonction du poids normal. D'après les plus récentes évaluations, cette dépense est, à l'état de repos absolu, au lit, de 37 ou de 40 calories environ par heure et par mètre carré de surface, suivant qu'il s'agit d'une femme ou d'un homme ; à l'état de repos assis ou de veille, de 48 ou de 52 calories ; dans les diverses formes du travail, de ces nombres de calories augmentés en proportion du travail effectué, 1000 kilogrammètres correspondant à 9,6 calories. Dans ce système, la femme moyenne, vaquant aux occupations du ménage pendant 8 heures par jour, après 8 heures de veille et 8 heures de sommeil, dépense journellement 1800 calories environ ; l'homme moyen, ne se livrant à aucun travail, sauf 2 heures environ de promenade, 2100 calories environ ; l'homme moyen exécutant pendant 8 heures, un travail modéré, soit de 50.000 kilogrammètres et faisant en outre 1 1/2 à 2 heures de marche, 2600 calories environ ; l'homme moyen s'a-

donnant pendant 8 heures à un assez rude labeur, soit 100.000 kilogrammètres, et faisant en outre 1 1/2 à 2 heures de marche, 3000 calories environ (1).

Le nombre total de calories considéré comme nécessaire est donc moindre qu'autrefois. En ce qui concerne la nature des principes nutritifs, la plupart des hygiénistes tendent actuellement à réduire la proportion des matières protéiques totales, pour l'homme moyen, à 70, 60, 50 gr. et même moins par 24 heures ; ils veulent ainsi éviter à la fois l'accumulation dans l'organisme de déchets particulièrement nuisibles et l'élévation des dépenses en raison des forts prix des denrées riches en protéines ; ils font remarquer qu'au demeurant ce minimum est généralement dépassé dans la pratique, lorsque le nombre total de calories fourni est suffisant. Ils insistent moins qu'on ne le faisait jadis sur l'utilité spéciale des corps gras et des sucres. Ils estiment que l'alcool est un aliment souvent nuisible, toujours dangereux et cher ; que ses propriétés stimulantes sont illusoires; qu'il est préférable de s'en abstenir. Par contre, ils attachent une grande importance à la présence, dans les aliments, en quantité suffisante, de matières protéiques renfermant virtuellement certaines amines acides, et surtout de principes de nature encore mal déterminée, désignés provisoirement sous le nom de vitamines ou de facteurs complémentaires de l'alimentation.

Les amines acides nécessaires sont la lysine, la cystine, le glycocolle, le tryptophane (2 à 3 gr. au moins par jour) la tyrosine, l'arginine, l'histidine. Les deux ou trois premières sont particulièrement indispensables, comme facteurs spéciaux de croissance, aux individus jeunes, non arrivés encore au stade de développement complet. Les amines acides capables d'assurer non seulement l'équilibre azoté mais aussi la croissance, se trouvent notamment dans la caséine, la lactalbumine, l'ovalbumine, la gluténine, les protéiques de la levure ; d'autres, capables seulement de maintenir l'équilibre, dans la gliadine, l'hordéine, etc (2).

(1) Recueil des rapports du Conseils supérieur d'hygiène publique de Belgique, 1921 (sous presse).

(2) Revue des sciences pures et appliquées, 1920, p. 714 ; Bulletin de l'Institut Pasteur, 1921, p. 43 ; Chimie et Industrie, 1921, t. I, pp. 33 et 655 ; 1922, t. I, p. 468.

La REVUE a publié récemment une très belle étude sur les vitamines, envisagées particulièrement au point de vue physiologique (1). On connaît encore peu de chose de leur constitution chimique, que l'on avait crue, un moment, analogue à celle des amines acides ; même ignorance, jusqu'ici, quant au mécanisme de leur action dans le métabolisme nutritif de l'être vivant. Elles se trouvent renfermées en proportions variables dans beaucoup d'aliments ; ces proportions, généralement plus fortes dans les aliments à l'état frais que dans les mêmes aliments desséchés ou soumis à l'action de la chaleur, sont toujours des quantités relativement minimes ; mais elles ont été, à la suite de nombreuses expériences, reconnues indispensables pour la nutrition et pour la croissance de l'homme et des animaux.

On distingue aujourd'hui trois espèces de vitamines :

Les vitamines A, antirachitiques, facteurs de croissance principalement ; insolubles dans l'eau, mais solubles dans les graisses et les solvants organiques. Elles sont renfermées dans les graisses animales, telles que la crème, les fromages gras, le beurre, le jaune d'œuf, les graisses de bœuf et de porc, les huiles de poisson ; dans les légumes verts, tels que les épinards et les choux ; dans certains fruits, notamment dans les tomates ; dans les graines de céréales et de légumineuses. Elles résistent peu à la chaleur, à l'action des dissolvants des graisses, à celle des alcalis. Les graisses végétales et l'oléostéarine contiennent peu de vitamines ; les graisses hydrogénées en sont totalement dépourvues.

Les vitamines B, antinévritiques, antibéribériques, facteurs de nutrition et de croissance, solubles dans l'eau ou dans l'alcool aqueux. On les trouve renfermées dans les graines, particulièrement dans les germes et les parties corticales des graines de céréales, dans les œufs, dans la levure, et aussi dans les pommes de terre, les carottes, les oignons, etc. Elles résistent assez bien à la chaleur, à la température de 100° C. environ, aux acides et aux alcalis froids.

Les vitamines C, particulièrement antiscorbutiques ; elles sont solubles dans l'eau comme les vitamines B. Elles sont renfermées dans les légumes verts, tels que laitues,

(1) F. Malengreau. Les facteurs accessoires de l'alimentation. REV. DES QUEST. SC. 1921, t. II, p. 82.

choux, épinards, pois, crus ou bouillis rapidement ; dans les pommes de terre (cuites, de préférence avec la pelure, à 100° C pendant 15 minutes), les carottes, les navets ; dans les fruits : citron, orange, framboise, tomate, etc. Elles résistent à la température d'ébullition pendant trente minutes, tout en perdant une partie de leur activité ; elles ne sont pas détruites par les acides, ni par les alcalis à froid (1).

De tout ce qui vient d'être rappelé nous concluons que, d'après les opinions actuelles, la ration alimentaire de l'homme moyen, se livrant pendant 8 heures à un travail modéré et dépensant environ 2600 calories par 24 heures, peut être composée à peu près comme suit :

DENRÉES	Poids total	Poids utile de			Calories
		Protéines	Graisses	Hydr. de carb.	
Viandes, poissons, œufs, fromages, gr.	100	15	8	1	145
Lait.	150	5	4	6	84
Beurre, graisses, huiles	35	»	30	»	279
Farines, pain, etc.	550	40	5	275	1364
Pommes de terre, lég. divers, fruits	500	12	5	85	452
Sucres, confitures, etc.	50	1	»	40	170
Condiments et aromates divers .	40	2	3	18	110
Boissons aqueuses	1600	»	»	»	»
Totaux { Poids	3025	75	55	425	»
Totaux { Calories	»	330	511	1.763	2.604

Les viandes, le poisson, les œufs, les fromages. — Ces denrées sont très riches en protéines (13 à 18 p. c. dans les denrées fraîches), en graisses (8 à 12 p. c.), en amines acides et en vitamines.

(1) BULL. DE L'OFFICE INTERNAT. D'HYG. PUBL., 1919, pp. 100 et 895 ; 1920, pp. 536, 587 et 769 ; 1921, pp. 422, 539 et 885 ; 1922, p. 324. —

CHIMIE ET INDUSTRIE, 1921, t. I, pp. 409 et 655 ; t. II, p. 471 ; 1922, t. I, pp. 53 et 467.

JOURNAL DE PHARMACIE DE BELGIQUE, 1922, p. 59.

BULLETIN DE L'INSTITUT PASTEUR, 1922, p. 277.

Dans ces dernières années on a autorisé et organisé en Belgique, comme dans les autres pays de l'Europe occidentale, l'importation de viandes frigorifiées, c'est-à-dire réfrigérées entre — 1° et + 4° C., provenant de l'Amérique, de l'Afrique et de l'Océanie. La valeur alimentaire et la qualité de ces viandes sont égales à celles de la viande indigène ; la viande frigorifiée est même plus savoureuse que la viande fraîche ; elle contient 2 à 3 p.c. d'eau en moins ; elle coûte moins cher que la viande indigène.

Près de 50 millions de kilogr. de viandes frigorifiées, principalement de viande de bœuf, ont été importés en Belgique en 1920, et environ 32 millions en 1921. Notre consommation annuelle de viandes est d'environ 300 millions de kilogrammes.

Divers entrepôts frigorifiques ont été construits durant ces dernières années par l'État belge pour la conservation des viandes et autres produits périssables importés en grand de l'étranger. Le plus vaste est celui d'Anvers.

Il s'étend le long du bassin-canal de l'Escaut, sur une longueur de 148 mètres et une largeur de 57 mètres. Les produits extraits des navires frigorifiques pénètrent d'abord dans un couloir refroidi à 0° C., pour servir de transition entre l'atmosphère extérieure et l'intérieur des salles de congélation. Celles-ci, au nombre de sept, mesurent chacune 47 sur 14,35 mètres; elles ont une hauteur de 5 mètres, suivant laquelle elles sont divisées en deux compartiments par un plancher à claire-voie. La température y est de — 12° C. L'air froid descend du compartiment supérieur, à travers la claire-voie, vers le compartiment inférieur. L'ensemble des salles congélatoires peut recevoir 6.300 à 7.000 tonnes de viande. Des salles de congélation, les viandes passent dans des wagons à caisses isolantes, amenés dans un second couloir longitudinal, refroidi à + 6° C., servant également de transition entre l'atmosphère des dites salles et l'extérieur. Les wagons sont aménagés de façon à pouvoir, au besoin, recevoir de l'air refroidi à — 15° C. ou — 18° C. L'installation comprend trois moteurs électriques de 250 chevaux et trois compresseurs doubles pour le gaz ammoniaque ;

la puissance de ceux-ci correspond à une production de 300 tonnes de glace par 24 heures (1).

Les œufs sont, du chef de leur composition, d'excellents aliments. On leur reproche de contenir parfois des germes dangereux, provenant des poussières du sol où les poules se vautrent. L'industrie prépare maintenant, en vue d'un transport plus commode, des œufs granulés, des poudres d'œufs, etc. : ces produits sont assez fréquemment additionnés de substances alcalines pour prévenir ou masquer le rancissement, et de matières diverses pour réduire le prix de revient (2).

Le lait. — Cet aliment assez riche en protéines (4 p. c. en moyenne) et en corps gras (3 à 3,5 p.c.) contient aussi une proportion notable de matières hydrocarbonées (5 p.c. environ), ainsi qu'une série intéressante d'acides aminés et de vitamines.

Malheureusement il est souvent souillé par de la bouse et par des microbes malfaisants, notamment par des bacilles de tuberculose, et il est fréquemment falsifié par écrémage et par addition d'eau. Un projet d'arrêté royal a été élaboré en vue de renforcer la rigueur des dispositions réglementaires préventives de ces abus (3).

Le beurre, les graisses, les huiles. — Ces denrées sont constituées presque exclusivement par des corps gras. Le beurre et les graisses animales préparées à basse température, contiennent, en outre, des vitamines.

La margarine, autrefois composée principalement de graisse de bœuf et de saindoux, est aujourd'hui fabriquée en grande partie à l'aide de graisses végétales raffinées par des procédés chimiques et d'huiles durcies par l'hydrogénation.

(1) BULL. DE L'OFFICE INTERNAT. D'HYG. PUBL., 1919, p. 1268; BULLETIN DU RAVITAILLEMENT, 1921, p. 220.

BULLETIN MENSUEL DES RENSEIGNEMENTS FRIGORIFIQUES, 1921, p. 388.

(2) ANNALES DES FALSIFICATIONS, 1920, p. 94.

(3) BULL. DE L'OFFICE INTERNAT. D'HYG. PUBL., 1900, p. 301; RECUEIL DES RAPPORTS DU CONSEIL SUP. D'HYG. PUBL. DE BELGIQUE, 1921 (sous presse).

L'hydrogénation des huiles est réalisée au moyen de catalyseurs, tels que le nickel réduit, à des températures variant de 100° à 300° C., soit sous pression, soit à la pression atmosphérique. Elle permet de transformer les huiles en graisses concrètes, par la saturation de l'acide oléique et la production d'acide stéarique. Moyennant une hydrogénation partielle, on peut transformer des huiles demi-siccatives, rancissantes, en huiles utilisables notamment pour l'alimentation (1).

Les farines, le pain, etc. — Ce groupe de produits contient de fortes proportions de protéines (8 à 9 p.c. en moyenne) et surtout d'hydrates de carbone (50 p.c. environ). Les farines bises et le pain bis renferment aussi des lysines et des vitamines.

La plupart des hygiénistes estiment aujourd'hui que le meilleur pain est celui qui est fait de farine au taux d'extraction de 80-85 p. c., obtenu de préférence par la mouture à l'aide de meules en pierre. Si l'on utilise de la farine blanche, à 70 p.c., on écarte de la panification, en quantité notable, des bas produits plus riches en vitamines, aussi riches en protéines digestibles et presque aussi riches en matières hydrocarbonées. La farine bise, à l'état de pain, est en général aussi bien digérée par l'homme que par les animaux. Il n'en est pas tout à fait de même de la farine intégrale qui, chez beaucoup de personnes, produit des troubles des voies digestives.

Dans divers pays, notamment aux Iles Britanniques et dans l'Amérique du Nord, on emploie fréquemment, pour pousser les pâtes en boulangerie comme en pâtisserie, au lieu de levure, des sels, tels que le bicarbonate de soude, dégageant leur acide carbonique sous l'influence de l'acidité naturelle de la pâte ou mieux sous celle de corps acides tels que l'acide tartrique, la crème de tartre ou un phosphate acide, mélangés avec le bicarbonate. Ces poudres agissent mécaniquement sur les pâtes. Dans les pays latins, on s'en tient généralement, en boulangerie, à l'usage de levures retirées des moûts de céréales en fermentation

(1) Chimie et Industrie, 1920, t. II, p. 443.

alcoolique. Ces substances vivantes ont une action biologique qui, outre le dégagement d'acide carbonique et ses effets mécaniques, amène des transformations utiles dans la pâte : une partie de la matière amylacée et de la matière protéique s'y modifie avantageusement. Le pain, aux termes du règlement belge, doit être fait exclusivement de farine, levure, sel et eau.

La levure, en elle-même, est un produit alimentaire intéressant. On en trouve dans le commerce des préparations ayant surtout la forme des extraits de viande, qui sont obtenus par divers procédés. Par macération aqueuse, de préférence en milieu faiblement alcalin, à la température de 35° C., on extrait de la levure 50 à 60 p.c. de son poids de substances protéiques consistant essentiellement pour un quart environ en une phosphoprotéine et pour trois quarts en une albumine vraie. La phosphoprotéine de la levure, par ses propriétés, se place entre la caséine du lait et la vitelline de l'œuf ; elle se rapproche de la caséine au point de vue des quantités d'histidine, d'arginine et de lysine qu'elle donne par l'hydrolyse acide. L'albumine de la levure paraît assez voisine de certaines albumines végétales, telles que la légumeline des pois ; elle contient cependant plus de lysine et moins d'arginine. Les protéiques de la levure fournissent par l'hydrolyse, outre les amines acides précitées, des quantités notables de tryptophane : la phosphoprotéine en donne 1,5 p.c. de son poids ; l'albumine, 2,3 p.c. Nous avon vu que la levure est aussi une source de vitamines. L'hydrolyse des protéiques de la levure sous l'action de la pepsine et de la trypsine, conduit à la formation d'albumoses et de peptones (1).

Les légumes et les fruits. — Ne contenant, pour la plupart, que peu de protéiques (2 p. c. en moyenne) et de graisses (1 p. c.), ils sont surtout utiles du chef de leur teneur

(1) Bull. de l'Office internat. d'hyg. publ., 1919, p. 948 ; 1921, p. 764.
Recueil des rapports du Cons. supérieur d'hyg. publ. de Belgique, 1920, p. 119.
Annales des falsifications, 1918, p. 344 ; 1919, p. 269.
Journal de pharmacie de Belgique, 1920, p. 856.
Annales de l'Institut Pasteur, 1921, p. 43.

en hydrates de carbone (18 p. c. en moyenne) et en vitamines.

Les champignons renferment une proportion relativement forte de principes azotés ; mais ces principes sont de digestion et d'assimilation difficiles. Bon nombre d'espèces contenant de la phalline ou de la muscarine, sont mortelles ou très dangereuses : telles les anamites bulbeuse, citrine, printanière, panthère et tue-mouches, les volvaires ; et il y a beaucoup d'espèces suspectes, réparties principalement parmi les russules, les lactaires et les bolets. C'est exclusivement aux caractères botaniques que l'on reconnaît avec certitude les espèces à rejeter. Il est prudent de s'en tenir aux produits des champignonnières, où l'on cultive en couches une variété de choix : l'agaric champêtre (1).

Les sucres, les confitures, etc. — Le sucre le plus riche en hydrate de carbone est le sucre ordinaire de canne ou de betterave, constitué presque totalement par du saccharose. Les glucoses du commerce, ou sucres de fécule ou d'amidon, sont composés de dextrose et de dextrines avec une proportion d'eau plus ou moins forte.

Un règlement belge définit les confitures, sirops, etc., des mélanges de sucre ordinaire avec des fruits ou des jus de fruits. Ces mélanges se font généralement par parties à peu près égales ; toutefois, certains sirops de pomme, de betterave, etc. sont des jus simplement concentrés de ces fruits ou racines. Dans le sirop de betterave, la proportion de sucres est de 36 p. c. en moyenne ; le saccharose est accompagné de dextrose et de lévulose provenant de l'inversion, à la température de 104-105° C., sous l'action de l'acide du jus ou sous celle d'acides ajoutés à raison de 1 p. c. environ.

La fabrication de la crème glacée s'est développée beaucoup dans ces derniers temps. Aux États-Unis notamment elle s'effectue dans d'importants établissements. Les matières premières utilisées sont le lait, la crème, le lait écrémé, des matières grasses, le sucre, la gélatine, l'albumine, le jus de fraise, le jus de guimauve, le cacao, la vanille, les noix, les noisettes, etc. Le produit contient environ 66 p. c. d'eau,

(1) Annales de Gembloux, 1921, p. 285.

5 p. c. de protéines, 10 p. c. de corps gras et 19 p. c. d'hydrates de carbone. On distingue entre la crème congelée à — 2° ou — 3° C. et la crème durcie entre — 9° et — 12° C. Cette industrie fait là-bas l'objet d'un contrôle sanitaire spécial : on y surveille notamment la qualité du lait et des graisses employées (1).

Les condiments et aromates divers. — Ces denrées sapides ou odorantes jouent le rôle accessoire d'excitants de l'appétit ou de la digestion. Le sel a toutefois une utilité directe, comme composant des sucs digestifs et du sang. Nous ne nous arrêterons pas aujourd'hui à ce groupe d'adjuvants de la nutrition.

Les boissons. — Constituées principalement par de l'eau, quand elles ne consistent pas simplement en eau naturelle, elles sont nécessaires à notre organisme pour parer à l'insuffisance de la quantité d'eau généralement apportée par l'ensemble des autres denrées alimentaires.

L'eau naturelle destinée à servir de boisson doit être exempte de souillures, particulièrement de matières d'origine animale, et ne pas contenir en dissolution des composés minéraux capables d'exercer intempestivement une action spécifique sur l'économie : un projet de règlement a été élaboré pour lui assurer notamment ces qualités. Les eaux de pureté douteuse peuvent, à la rigueur, être consommées après épuration et stérilisation. Un procédé assez fréquemment employé aujourd'hui est le traitement par le chlore, lequel oxyde la matière organique ainsi que les matières organisées : bactéries, moisissures, levures, etc. L'excès de chlore ajouté est éliminé par de l'acide sulfureux ; on peut, du reste, recourir à un dispositif de dosage automatique du gaz chlore, par le réglage de la pression

(1) Recueil des rapports du Cons. sup. d'hyg. publ. de Belgique, 1922 (sous presse).
Chimie et Industrie, 1921, t. II, p. 453.
Bull. de l'Office international d'hyg. publ., 1921, p. 1269.
Bull. mensuel des renseignements frigorifiques, 1921, pp. 55, 113, 239 et 344.

de ce gaz, conservé à l'état sec au contact d'acide sulfurique (1).

Les autres boissons consistent en eau à l'état de soupes, de limonades, d'infusions de café, de chicorée, de thé, etc. ou de bières, en jus de fruits fermentés (cidre, vin), ou encore en dilutions aqueuses d'alcool distillé (eaux-de-vie, liqueurs alcooliques).

Les bières contenaient autrefois, en Belgique, 7 p .c. en moyenne de matières hydrocarbonées, dont 3 p. c. environ d'alcool. Depuis la guerre, en raison du manque ou du prix élevé des céréales et des sucres, elles sont fabriquées avec des quantités restreintes de ces matières premières. On y ajoute fréquemment de la saccharine, substance qui est dénuée de valeur alimentaire, mais qui améliore la saveur et l'aspect des bières faibles. On s'attache aussi à rendre les bières de fermentation haute plus fraîches, plus brillantes, plus mousseuses et plus moelleuses, c'est-à-dire semblables aux bières de fermentation basse, par le refroidissement (chilling) jusque près de 0° C. combiné avec la saturation par de l'acide carbonique, l'agitation, la filtration, etc. Comme les autres boissons alcooliques, les bières sont plus coûteuses que les matières amylacées ou sucrées dont elles proviennent ; elles ne constituent pas un sérieux appoint pour la nutrition, si elles sont relativement faibles et consommées avec modération ; elles présentent les inconvénients de l'excès de liquide ou les dangers de l'alcool, si elles sont ingérées en grande quantité ou si elles sont relativement fortes ; de toute façon, elles sont moins saines que leurs matières premières (2).

(1) Recueil des rapports du Cons. sup. d'hyg. de Belgique, 1916-1919, p. 267 et Annexe.

Bull. de l'Acad. de médecine de Belgique, 1919, p. 1365.

Le génie civil, 1919, p. 199.

Bull. de l'Office internat. d'hyg. publ., 1919, p. 547 ; 1920, p. 1229.

Chimie et Industrie, 1921, t. II, p. 59.

(2) Bull. de l'École supér. de Brasserie de Louvain, 1921, p. 125.

Bull. de l'Assoc. des anc. élèves de l'Institut sup. des fermentations de Gand, 1922, p. 76.

Le petit Journal du Brasseur, 1921, pp. 1023, 1064, 1083 ; 1922, p. 375.

Bull. de l'Office internat. d'hyg. publique, 1920, p. 1230.

Presque partout les pouvoirs publics en sont venus à combattre énergiquement sinon l'usage, au moins l'abus des boissons alcooliques, particulièrement des spiritueux. En Belgique, grâce aux mesures législatives et administratives adoptées, grâce aussi à la propagande faite par de zélés sociologues, la consommation d'alcool sous forme de spiritueux a décru considérablement dans ces derniers temps. D'après les statistiques du Ministère des Finances, cette consommation, évaluée en litres de boisson ramenée à une teneur en alcool de 50 p. c. (en volumes) était, par année et par habitant, de 9 litres environ en 1900, et de 5 à 6 litres en 1910-1913 ; elle est tombée à 2 litres environ en 1920-1921.

J.-B. André.

BIBLIOGRAPHIE

I. — Geschichte der Elementar-Mathematik, in Systematiccher Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter, von D. Johannes Tropfke, Direktor der Kirschner-Oberrealschule zu Berlin. Dritter Band : *Proportionen, Gleichungen.* Zweite verbesserte und sehr vermehrte Auflage. — Un volume in-8° de xv-151 pages. — Berlin und Leipzig, Vereinigung Wissenschaftlicher Verleger, 1922.

Comme les deux premiers fascicules de la réédition de l'*Histoire des Mathématiques élémentaires*, par M. Tropfke, dont j'ai précédemment rendu compte dans la Revue, le troisième fascicule est excellent. Je ne connais, dans aucune langue, d'ouvrage relatif à l'histoire des mathématiques élémentaires qui puisse être mis en parallèle avec celui du savant berlinois. En français, notamment, il faut bien l'avouer à regret, nous sommes particulièrement pauvres. Loin d'avoir quelque chose à comparer à la *Geschichte der Elementar-Mathematik*, nous ne possédons même rien de sérieux.

En étudiant, séparément, comme l'auteur le fait, l'histoire de chacune des principales théories des mathématiques élémentaires, il en résulte cet enseignement, peut-être assez inattendu, mais en tout état de cause encourageant et précieux : c'est qu'en mathématiques, on rencontre peu de savants qu'il faille qualifier d'hommes de génie, mais, en revanche, on y trouve beaucoup de personnalités très intelligentes et de bon sens.

Les grands, les vrais progrès de la science sont dus d'ordinaire, non pas à une création nouvelle, mais au développement fécond et puissant d'une idée existante, dont on

n'avait pas su précédemment tirer parti. Cette réflexion s'applique plus spécialement à la seconde des théories traitées dans le présent fascicule de M. Tropfke, celle des équations.

Elle convient moins, il est vrai, à la théorie des proportions par laquelle s'ouvre le fascicule. C'est qu'ici l'histoire débute par un chef-d'œuvre : le traité des proportions d'Eudoxe, autrement dit, le Ve livre des *Eléments* d'Euclide. M. Tropfke l'analyse bien. Mais, puisque la préhistoire de ce livre a péri presque tout entière, n'eût-elle pas été utilement remplacée par une autre page d'histoire assez surprenante : celle des déformations subies par le Ve livre d'Euclide, depuis le Moyen Age jusqu'à nos jours ? On en connaît la cause : le souci de la rigueur joint à l'obscurité des définitions euclidiennes de l'égalité et de l'inégalité de deux rapports. Tacquet avouait qu'il ne les comprenait pas. Clavius écrit une note qui a l'étendue d'un mémoire, sans parvenir à bien les expliquer. C'est de nos jours seulement, on le sait, que Zeuthen, s'inspirant des idées de Weierstrass, a mis en évidence la justesse et la profondeur des définitions du géomètre grec. L'histoire des mathématiques n'est pas seulement celle des progrès de cette science. Il est bon que certains chapitres de l'histoire de ses reculs soient aussi écrits.

Revenons aux équations. Leur histoire mérite une attention particulière. Ici, point de retour en arrière, ni même de temps d'arrêt, mais une marche en avant lente, sûre et continue. Viète, par exemple, n'y apparaît pas comme un brillant météore qui illumine subitement le ciel. C'est plutôt un laboureur qui sème dans un champ fertile, bien préparé et travaillé depuis longtemps.

Le rôle de Stevin semble un peu trop effacé. M. Tropfke ne me paraît pas mettre suffisamment en lumière sa belle méthode de résolution des équations numériques par approximations successives. C'est au fond celle dont nous nous servons pour rechercher les racines irrationnelles des équations, mais nous avons oublié le nom de celui à qui il faut la faire remonter. Comme élégance et simplicité, la méthode de Stevin l'emporte de loin sur celle de Viète, qui finit d'ailleurs par être abandonnée. Mais, ce que

M. Tropfke a surtout négligé de faire remarquer, c'est que l'*Appendice algebraïque* dans lequel le Brugeois publia pour la première fois sa méthode, parut dès 1594, six ans avant le traité de Viète sur la résolution des équations numériques.

Le chapitre consacré aux équations linéaires à plusieurs inconnues était difficile à écrire. Dans sa première édition, M. Tropfke eut le grand mérite de peindre le premier un tableau d'ensemble du sujet. Aujourd'hui, il le retouche et y ajoute quelques traits nouveaux. Mais, ils ne sont pas suffisamment nombreux, car, mieux peut-être que tout autre sujet, l'histoire de la résolution des équations linéaires à plusieurs inconnues nous permet d'observer un phénomène psychologique aussi important que curieux : l'influence profonde, bien que latente, du milieu ambiant sur le développement de l'intelligence des mathématiciens d'une époque donnée. De nos jours, nous voyons des jeunes gens, presque des enfants, voire des artisans manuels se servir avec aisance des équations linéaires à plusieurs inconnues. Au XVIe siècle, la théorie et la pratique de ces équations passaient pour des plus difficiles, même chez les savants éminents. Guillaume Gosselin s'y embrouille au point d'achever la résolution d'un système d'équations par de simples tâtonnements.

Parmi les contemporains de Gosselin, c'est Stifel qui apporta la contribution la plus sérieuse à la résolution des équations linéaires à plusieurs inconnues. L'ancienne Bibliothèque de l'Université de Louvain possédait un exemplaire de l'*Arithmetica integra* de Stifel annoté en marge par Gemma Frisius. Arrivé au chapitre des équations à plusieurs inconnues, notre illustre compatriote crible l'auteur de ses sarcasmes. Il ne conçoit pas qu'on puisse préférer une méthode aussi compliquée à l'emploi si simple des proportions et des fausses positions ! Quant à Stevin, sans aller aussi loin, il s'en tenait, cependant, volontiers au procédé de Cardan, qui n'employait que deux inconnues. Il fallut un jour au Brugeois les critiques judicieuses de Maurice de Nassau, pour lui montrer qu'en cela il se trompait, et qu'en bien des cas, il valait mieux prendre modèle sur Stifel. Malheureusement, dans ses deux

rééditions de l'*Arithmétique* de Stevin, Albert Girard n'a pas reproduit l'échange de vues que le professeur eut à ce sujet avec son brillant élève. On le trouve ailleurs, par exemple, au tome V des *Hypomnemata mathematica* de Stevin.

Nous espérons que le quatrième fascicule de l'*Histoire des Mathématiques élémentaires* par M. Tropfke ne se fera pas attendre, et qu'il sera aussi intéressant que les trois premiers.

H. Bosmans.

II. — The Fourth Dimension, by E. H. Neville, Professor of mathematics in University College. — Un vol. petit in-8° de VIII-56 pp. — Cambridge, University Press, 1921.

Dans l'introduction de sa brochure, qu'il eût pu mieux intituler : *Notions élémentaires de géométrie vectorielle à quatre dimensions*, l'auteur émet cette opinion : le pur mathématicien n'essaie pas de « s'imaginer » unes pace quadridimensionnel (1) ; mais il constate « que certaines notions en Algèbre sont discutées plus promptement dans le langage géométrique » (2). Or, dit M. Neville, — faisant sans

(1) Nous ne sommes pas complètement d'accord avec l'auteur. Sans cependant aller aussi loin que Ch. H. Hinton (*A new era of thought*, Londres, 1883), nous croyons, avec W. Ostwald et d'autres, qu'il n'y a aucune impossibilité à se représenter l'espace euclidien à quatre dimensions. H. Poincaré (Revue générale des Sciences, 1891, p. 774) ne devait pas être tout à fait de cet avis. Il a bien écrit : « Quelqu'un qui y consacrerait son existence pourrait *peut-être* arriver à se représenter la quatrième dimension »; mais ce n'est sans doute qu'une boutade, car pour l'illustre mathématicien français (Revue de métaphysique et de morale, 1895, p. 631 ; 1897, p. 66), la conception que nous avons de l'espace aurait pour base une image se formant sur la rétine et l'idée d'une troisième dimension résulterait des efforts d'accommodation. — En ce qui concerne l'existence de l'espace quadridimensionnel, il peut être intéressant de signaler, en passant, qu'on a cru y voir des allusions — lointaines ! — dans le Livre de Job et dans St Paul (*Épître aux Ephésiens*, chap. III).

(2) La Géométrie ne serait-elle qu'une métaphore de l'Algèbre ? H. Poincaré débute son livre sur l'*Analysis Situs* (Journal de l'École Polytechnique, 1895), en faisant observer que : « les

doute allusion aux théories d'Einstein, — le langage relatif à l'hyperespace vient d'acquérir soudainement un intérêt « universel et absorbant ». C'est pourquoi l'auteur s'est proposé d'écrire « un dictionnaire exposant cette terminologie » de manière à pouvoir être compris de quiconque est familier avec les éléments de la trigonométrie et de la théorie des systèmes d'équations linéaires.

M. Neville, qui ne donne aucune référence bibliographique, ne traite que du point, de la droite, du plan et de l'hyperplan (espace à trois dimensions) et, désirant rester très élémentaire, il évite les définitions de Frege-Russell et n'envisage que les nombres réels. Par exemple, une direction est définie comme étant un ensemble ordonné de quatre nombres (*tétrade*) dont la somme des carrés est l'unité.

L'espace à quatre dimensions est considéré comme la « totalité des tétrades ». Des néologismes, plus ou moins heureux, sont créés, que nous ne traduirons pas. Par exemple, à propos de vecteurs collinéaires, coplanaires, cospatiaux, l'auteur introduit les termes « *vecline* », « *vecplane* », « *vecspace* » ; ainsi l'ensemble des vecteurs cospatiaux avec trois vecteurs, a, b, c non-coplanaires est un *vecspace* abc. Puis M. Neville généralise, à l'aide des notions précédentes, les formules ordinaires relatives aux directions et aux angles. Finalement vient l'étude de la symétrie et des déplacements. Les translations, réflexions et rotations sont considérées comme des corrélations entre deux ensembles de points. L'étude des rotations dans l'espace à quatre dimensions est la plus délicate de toutes les notions élémentaires utilisées dans la théorie de la relativité.

Un appendice (pp. 52-55) réunit quelques remarques sur différents passages et la brochure se termine par une liste alphabétique d'une soixantaine de termes.

Des exemples numériques, imprimés en petit texte, sont donnés à tout instant, ce qui facilitera la lecture aux étudiants. — A signaler une méthode, plus originale que simple, pour numéroter les équations.

êtres de l'hyperespace sont susceptibles de définitions précises, comme ceux de l'espace ordinaire, et si nous ne pouvons nous les représenter, nous pouvons les concevoir et les étudier ».

Seul le principe de relativité restreinte trouve sa base analytique dans cet opuscule ; le principe généralisé, qui est invoqué dans la discussion de la gravitation, exigeant des mathématiques beaucoup plus approfondies. Mais cette brochure pourra fournir une première initiation à ceux qui désirent aborder la captivante théorie de la Relativité.

M. Lecat.

Fondamenti di Calcolo delle Variazioni, par Leonida Tonelli. — Vol. premier, in-8° de VII-467 pp., avec titre en rouge. — Bologne, Nicola Zanichelli, s. d. (fini d'imprimer le 31 décembre 1921).

Le Calcul des variations, né en même temps que l'Analyse infinitésimale, est aujourd'hui — après plus de deux siècles de laborieux développements — l'un des domaines les plus importants de l'Analyse. L'apparition du Calcul fonctionnel, conçu, par V. Volterra (1884), à l'occasion de problèmes de variations, a ouvert, en ces derniers temps, des horizons immenses et a déterminé un regain d'activité dans les recherches. Actuellement le Calcul des variations doit être considéré comme étant la théorie des extrémés des fonctions de lignes.

L'auteur du livre dont nous avons transcrit le titre, est à présent l'un des plus brillants géomètres italiens. De ses mémoires, au nombre d'environ une centaine, beaucoup sont consacrés à la matière qui fait l'objet de l'Ouvrage, matière où sa compétence est de tout premier ordre. Ses dernières productions contiennent des idées originales, parmi lesquelles nous devons signaler l'introduction d'un concept imaginé par Baire. La semi-continuité de l'intégrale du problème de Dirichlet est une propriété générale que Tonelli a posée, dès 1914, à la base d'une importante méthode pour traiter les questions de variations et dont on déduit de remarquables théorèmes d'existence pour les intégrales des équations différentielles ou aux dérivées partielles.

L'Ouvrage de L. Tonelli est, croyons-nous, la première monographie sur le Calcul des variations parue en Italie, après l'utile petit livre de E. Pascal (1897). L'auteur an-

nonce qu'elle comportera deux volumes. Préparatoire, le premier développe avec ampleur toute la théorie de la semi-continuité pour les intégrales, fonctions de lignes planes, dépendant seulement de la position de l'élément générateur de la courbe et de sa direction.

Dans l'historique (pp. 1-29), après avoir signalé les fameux problèmes de Newton et de la brachistochrone, on définit les principales espèces de questions à résoudre. On met ensuite en lumière l'importance du sujet en montrant la portée extrêmement générale du principe de moindre action et en faisant voir comment le Calcul des variations s'applique à diverses sciences y compris l'Économie politique. Enfin on esquisse rapidement le développement de la théorie.

Une première partie (pp. 33-108), assez considérable, est consacrée à des théories générales de l'Analyse qui constituent le fondement de l'Ouvrage. Des quatre chapitres de cette division, les deux premiers — sur les courbes (pp. 33-69) et sur les ensembles de fonctions et de courbes (pp. 71-105) — rassemblent et coordonnent des développements et résultats épars dans de nombreuses publications des quarante dernières années.

Les deux chapitres suivants concernent la mesure des ensembles de points, les fonctions mesurables et l'intégrale de Lebesgue. Rejetant le postulat de Zermelo, l'auteur est obligé d'introduire d'assez nombreuses modifications dans la théorie de Lebesgue. Aux ensembles mesurables, il substitue les « pseudo-intervalles » et aux fonctions mesurables, les « fonctions quasi-continues ». Pour la définition de l'intégrale de Lebesgue, il adopte, relativement aux fonctions bornées, la forme proposée par W.-H. Young et, pour les autres cas, celle de Ch. de la Vallée Poussin.

Le chapitre III (pp. 107-142) traite des pseudo-intervalles des fonctions quasi-continues, tandis que l'intégrale de Lebesgue fait l'objet du chapitre suivant (pp. 143-198).

Les seconde et troisième parties (pp. 201-344 et pp. 347-454), consacrées aux fonctions de lignes, respectivement sous la forme paramétrique et sous la forme ordinaire, comprennent chacune quatre chapitres.

Un index très utile (pp. 457-459) rassemble 175 définitions et l'ouvrage se termine par la table des matières.

Le petit texte — une quarantaine de pages — est employé pour des questions plus délicates ou moins essentielles, mais seulement dans la seconde moitié du volume.

Les renseignements bibliographiques, donnés au fur et à mesure de l'exposé, sont nombreux et précis.

Le second volume, en utilisant la notion de semi-continuité, abordera le Calcul des variations lui-même et s'occupera d'extrémer les intégrales fonctions de lignes, que les maximés et minimés soient libres ou isopérimétriques. L'auteur ajoute que s'il obtient la faveur des mathématiciens (ce dont nous ne doutons pas un instant !), il étendra ultérieurement les mêmes méthodes à tous les problèmes de variations.

Rassemblant l'essentiel d'une grande partie des études d'Analyse faites ces dix dernières années, tout en n'exigeant que la seule connaissance de ce qui est enseigné dans la plupart des cours de Calcul infinitésimal, ce livre, aussi rigoureux qu'on peut l'exiger actuellement, marquera une étape sérieuse dans le développement du Calcul des variations. Il aura grand succès, non seulement en Italie et dans les pays de culture latine, mais encore partout où l'on prend intérêt aux Mathématiques élevées.

M. Lecat.

III. — La recherche des lieux géométriques en géométrie analytique, à l'usage des élèves des Classes de Mathématiques spéciales et des Étudiants des Instituts scientifiques des Facultés des Sciences, par Pol Simon, chef de travaux pratiques de mathématiques à la Fac. des Sciences de Nancy. — Un vol. de VIII-232 pages (24 × 16) avec nombreuses fig. dans le texte. — Paris, Colin, 1922. — 18 fr.

Cent trente-deux exercices choisis dans les ouvrages de géométrie élémentaire, groupés en exercices du 1er, 2e, 3e et 4e livre. Pour initier l'élève à la méthode analytique, l'auteur s'est imposé la règle de suivre toujours la même marche, la plus générale, dans la solution analytique. Il n'emploie que des axes rectangulaires et ne traite que des

problèmes relatifs à la droite et au cercle. Chaque question est résolue aussi par la géométrie « pure ».

Voici une remarque dont l'auteur semble avoir méconnu l'importance ; bien souvent dans la solution géométrique simple, l'élève constatera qu'une partie seulement des points compris dans l'« équation du lieu » répond au problème. Ceci lui découvrira une lacune dans le raisonnement analytique employé. En effet, l' « équation du lieu » obtenue par élimination des paramètres est essentiellement susceptible de discussion. Le lieu ne se compose vraiment que des points dont les coordonnées répondent à des valeurs acceptables des paramètres.

I. P.

IV. — VUE D'ENSEMBLE SUR LES MACHINES A CALCULER, par MAURICE D'OCAGNE, membre de l'Institut, Professeur à l'École polytechnique. Un vol. petit in-8° de 69 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1922.

Il est extrêmement utile que M. d'Ocagne ait résumé dans ce petit ouvrage ce qu'il a exposé naguère, dans divers travaux plus importants, sur la construction et l'usage des machines à calculer. Il s'agit principalement du *Calcul simplifié par les procédés mécaniques et graphiques* (1893 et 1905) et de l'article *Calculs numériques* de l'Encyclopédie des Sciences mathématiques (1909) (1).

Cette étude est divisée en deux parties : machines arithmétiques, machines algébriques.

Dans les machines arithmétiques « les nombres soumis au calcul sont inscrits chiffre par chiffre sur certaines parties de la machine, au moyen de dispositifs spéciaux, liés mécaniquement de façon à faire apparaître également chiffre par chiffre, sur une autre partie de la machine, le résultat de l'opération que l'on a en vue ». Dans cette définition, que j'ai transcrite, on aperçoit la schématisation grâce à laquelle

(1) M. d'Ocagne signale aussi, comme une mine de renseignements utiles, le *Numéro commémoratif de l'invention par Thomas de Colmar de la première machine à calculer industrielle* (BULL. DE LA SOC. D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE, t. 132, 1920).

M. d'Ocagne va pouvoir, en peu de pages, donner au lecteur une idée si précise des machines à calculer. Voici le schéma général des machines arithmétiques, avec la définition et la description des organes d'une machine-type : *chiffreur, totalisateur, reporteur, entraîneur.* — Puis, d'après les dispositions relatives de ces organes, la classification et l'examen des principales réalisations : les machines sans entraîneur, depuis la machine de Pascal jusqu'au *Comptometer* d'aujourd'hui ; les machines avec entraîneur, depuis les machines de Leibnitz et de Thomas jusqu'aux machines multipliantes telles que la *millionnaire ;* les machines complexes, capables de plusieurs opérations, et les machines arithmologiques, véritables automates, qui, en quelques minutes, décomposent en une somme de deux carrés un nombre comme $708158977 = 19224^2 + 18401^2$.

Dans les machines algébriques, « on fait correspondre aux nombres soumis au calcul les points que marquent les index de certaines échelles graduées, liées mécaniquement entre elles de façon que les cotes lues ainsi simultanément sur les diverses échelles satisfassent à une relation analytique voulue » (1). Presque tout, dans ce domaine, est dû à M. Torrès, le savant ingénieur espagnol. M. Torrès a donné une théorie générale de ses machines à résoudre les équations dans un mémoire présenté en 1901 à l'Académie des Sciences de Paris et a su dépenser, dans leur réalisation, de « véritables trésors d'ingéniosité ».

On lira avec plaisir et facilité ce petit livre de M. d'Ocagne, et on y trouvera une excellente introduction aux ouvrages plus techniques et plus détaillés signalés au début de ce compte rendu.

M. Alliaume.

Origine et formation des mondes, par l'Abbé Th. Moreux. Un vol. petit in-8° de XII-401 pages. — Paris, G. Doin, 1922.

Après avoir tant réfléchi et écrit sur la structure de

(1) On n'aura pas manqué de remarquer, d'après cette définition, que les machines algébriques jouent, dans l'ordre du calcul mécanique, un rôle tout à fait analogue à celui que jouent les nomogrammes dans l'ordre du calcul graphique. Ce rapprochement est intéressant à faire à propos d'un ouvrage de M. d'Ocagne.

l'Univers, M. Moreux ne pouvait pas échapper au désir d'édifier une hypothèse cosmogonique. Or, des nombreuses hypothèses cosmogoniques défendues jusqu'ici, aucune n'est pleinement satisfaisante, aucune ne donne une explication plausible, même en première approximation, de tous les traits du système planétaire. Aussi un plus grand souci de ne négliger aucun de ces traits et une préoccupation continuelle de s'appuyer sur les résultats de l'observation devaient-ils mener M. Moreux à une conception cosmogonique différant sensiblement de celles de ses devanciers : d'où l'intérêt de la faire connaître. C'est ce qui nous vaut le beau volume d'aujourd'hui, avec sa documentation abondante, son ordonnance modèle, ses figures si nettes et ses planches nombreuses, reproductions d'admirables photographies célestes.

M. Moreux a la sagesse de ne pas remonter à l'origine des systèmes stellaires : la formation du système solaire, avec ses grosses planètes et leurs satellites, avec les astéroïdes et les comètes, est un problème déjà bien suffisamment délicat. Le mérite de cette cosmogonie nouvelle est de ne faire appel à aucune conception forgée pour les besoins de la cause, de n'introduire, à ses principales étapes, que des formations dont l'observation d'aujourd'hui nous présente encore des répliques et comme des témoins. Ces témoins sont principalement : les nuages de matière obscure dont l'interposition entre nous et le fond clair des nébuleuses fait sur celles-ci des découpures nettes connues depuis longtemps, et dont la distribution dans toutes les directions de l'Univers vient d'être attestée par la découverte dans le spectre nébulaire de raies d'absorption dues à des rideaux immobiles de vapeur de calcium (1) ; les nébuleuses spirales, avec leurs deux branches enroulées autour du noyau, et dans le type desquelles rentrent de mieux en mieux toutes les nébuleuses au fur et à mesure que se perfectionnent les procédés d'observation ; les étoiles nouvelles avec la petite nébuleuse dont elles

(1) M. Henroteau, de l'Observatoire d'Ottawa, a déterminé récemment la direction et la vitesse du mouvement du Soleil par rapport à ce milieu absorbant : les coordonnées les plus probables de l'apex sont une ascension droite de 271° et une déclinaison de 42°, avec une vitesse de près de 30 km. par seconde. Voir ROYAL ASTR. SOC. CANADA JOURNAL, t. 14 (1920), p. 234.

s'entourent pendant la phase d'extinction et dans laquelle on distingue les linéaments d'une disposition spiraloïde.

Notre système planétaire résulterait de l'évolution d'une petite nébuleuse spirale formée par la rencontre d'une masse nébulaire déjà partiellement condensée et douée d'un mouvement propre, avec un courant météorique de matière noire, et cette rencontre serait le mécanism auquel sont dues les étoiles nouvelles observées aujourd'hui. La rotation du noyau primitif s'étendant de proche en proche jusqu'aux confins de la petite nébuleuse ainsi constituée aurait provoqué la formation de deux branches spirales dont les ruptures successives, causées par le redressement de l'axe de rotation sous l'afflux continu des météores, auraient donné naissance aux grosses planètes extérieures ; tandis que, plus tard, se seraient formées les petites planètes intérieures, et dans l'intervalle, comme phase de transition, la couronne morcelée des astéroïdes.

L'auteur d'une hypothèse cosmogonique a tant réfléchi à tous les détails de sa théorie, a dépensé une telle ingéniosité dans l'étude de chacune des formations mineures, satellites, comètes, ellipsoïde zodiacal, qu'il ne peut que s'indigner et crier à la trahison devant un pareil résumé de quelques lignes. Il faudra donc lire l'ouvrage de M. Moreux pour se faire une idée juste de sa théorie ; sans qu'elle puisse faire davantage que toute hypothèse cosmogonique, présenter des conjonctures vraisemblables, cette théorie semble tenir, et a certainement le mérite de ne négliger aucune de nos conquêtes récentes dans l'étude de l'univers.

M. Moreux cherche à soumettre au calcul quelques-uns des problèmes qu'il rencontre : le problème, en particulier, du choc d'un noyau nébulaire et d'un courant météorique. A notre avis, ces calculs sont presque entièrement illusoires. La Mécanique céleste s'applique admirablement à la résolution de problèmes dont l'énoncé est d'une extrême simplicité et comporte de ces circonstances heureuses, comme les grandes distances mutuelles des planètes vis-à-vis de leurs dimensions, qui permettent des simplifications énormes sans perturbation appréciable dans le résultat. Mais comment assimiler à de pareils problèmes le problème infiniment complexe de la formation d'une étoile nouvelle ? Comment,

déjà, énoncer ce problème avec une précision qui le rende abordable au calcul ?

M. ALLIAUME.

GNOMONIQUE, ou *Traité théorique et pratique de la Construction des Cadrans solaires*, suivi de Tables auxiliaires relatives aux cadrans et aux calendriers, par G. BIGOURDAN, membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. — Un vol. petit in-8° de 215 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1922.

Le tracé d'un cadran solaire est, en principe, le tracé d'une épure de géométrie descriptive. Dans le livre très complet qu'il publie aujourd'hui, M. Bigourdan précise les données du problème dont on va demander la résolution à la géométrie descriptive ; détaille les particularités que présentent les données dans chacun des cas les plus intéressants et les plus fréquemment rencontrés ; et présente la résolution du problème de la manière la plus simple et la plus intuitive, au point qu'on peut presque dire que celui qui l'appliquera fera de la géométrie descriptive sans le savoir. Et l'intention de construire un cadran solaire n'est pas nécessaire à ce qu'on lise cet ouvrage avec intérêt : on y trouve une foule de renseignements précieux sur l'histoire du cadran solaire et les formes les plus diverses données à cet appareil : cadrans universels, cadrans de hauteur, cadrans d'azimut, cadrans analemmatiques, etc.

L'ouvrage se termine par quelques tables relatives au Calendrier : calendrier perpétuel, fêtes mobiles dans le calendrier julien et dans le calendrier grégorien.

M. A.

V. — COURS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE à l'usage des candidats au certificat de physique générale, au diplôme d'ingénieur-électricien et à l'agrégation des sciences physiques, par H. OLLIVIER, professeur à l'Université de Strasbourg. Tome II. *Thermodynamique et étude de l'énergie rayonnante*. Deuxième édition, entièrement refondue. — Un vol. de 415 pp. (25 × 17) avec 146 fig. dans le texte et 4 planches hors texte. — Paris, Hermann, 1922. — 28 fr.

L'auteur a considérablement remanié ses leçons, pour mettre à portée des élèves les travaux si remarquables publiés durant les dernières années. Il a soin de conseiller quelques ouvrages plus complets particulièrement choisis.

La première partie, étude des deux principes de la thermodynamique et de leurs applications les plus importantes, n'avait pas besoin de retouche ; un appendice sur la conductibilité pour la chaleur est venu l'enrichir.

La seconde partie, sous sa forme réadaptée à l'état présent des recherches, traite : 1° de l'émission et de l'absorption des radiations, uniquement au point de vue énergétique (de la théorie des quanta on indique simplement l'idée fondamentale, sous sa première forme) ; 2° des modifications subies par les radiations dans un champ électrique ou dans un champ magnétique ; 3° des radiations émises par le Soleil et par les autres astres (ici diverses questions d'astronomie physique ont été abordées).

Deux appendices sont consacrés à des questions simples de spectroscopie, l'un théorique (théorie de Bohr, complétée par Sommerfeld), l'autre descriptif (résultats des recherches expérimentales).

Ainsi maintenu à jour, le Cours de M. Ollivier reste toujours également recommandable.

H. D.

L'Espace et le Temps, par Émile Borel, membre de l'Institut. — Un vol. de IV-245 pages (19×12) avec 15 figures. — Nouvelle Collection scientifique. — Paris, Alcan, 1922. — 8 fr.

« On ne trouvera pas ici un exposé didactique des théories d'Einstein ; un tel exposé exige l'emploi des formules de l'analyse mathématique et doit s'adresser à des lecteurs également familiers avec ces formules et avec les théories physiques. A défaut de cet exposé, il a semblé qu'il n'était pas impossible de faire en quelque sorte une promenade autour des théories d'Einstein et d'en décrire quelques aspects. Chemin faisant, nous serons amenés à parler de faits et de théories bien connus avant Einstein et qui, lorsqu'on y réfléchit, font apparaître ses découvertes comme

moins singulières et moins paradoxales, mais non moins admirables » (1).

C'est de l'espace et du temps qu'il est surtout question et de tout ce qu'implique la prétention, si simple en apparence, de les mesurer. L'introduction intitulée « de Newton et Poincaré à Einstein » trace la route qui sera suivie dans les sept chapitres de l'ouvrage, où l'accumulation des détails et, il faut le dire, une certaine lenteur d'allure risquent de donner l'impression du décousu.

De ces réflexions se dégagent le caractère inéluctable d'approximation qui s'attache aux mesures physiques, puis la complexité des facteurs qu'elles sous-entendent ; mais aussi l'importance du progrès qui consiste à faire reculer ne fût-ce que d'un rang la dernière décimale garantie par l'expérience.

En appendice se trouvent trois notes plus techniques sur les hypothèses fondamentales de la physique et de la géométrie, sur le continu mathématique et le continu physique.

H. D.

Rayonnement et gravitation, par Félix Michaud, Docteur ès sciences, Agrégé des sciences physiques. Un vol. de v-61 pages (25 × 17). — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — 6 fr.

Dans l'état actuel de nos connaissances, les phénomènes de l'optique ne semblent pas encore réductibles parfaitement à des faits connus plus simples. L'auteur a eu l'idée de prendre le rayonnement comme point de départ afin d'expliquer par lui tout le reste.

Il étudie d'abord l'optique des corps en mouvement, en se gardant de toute idée préconçue et en écartant toutes les hypothèses : il n'accepte de la lumière que les propriétés révélées par l'expérience et ne veut d'autres postulats que les principes de l'énergétique des radiations et celui de la relativité sous la forme classique considérée comme indiscutable depuis Newton. Le principe einsteinien de la constance universelle de la vitesse de la lumière lui paraît une hypothèse *a priori* très probablement inexacte. Quant à l'éther, fondement de l'ancienne théorie physique, il le rejette résolument.

(1) Préface, p. 1.

Pour lui « toute l'optique des corps en mouvement, dans le cas où le milieu est un gaz très raréfié (ce qu'on appelle ordinairement le vide) s'explique si l'on admet que la vitesse de la lumière se compose géométriquement avec la vitesse de la source » (1).

Puis par des considérations énergétiques il rend compte de la transmission de la lumière dans les différents milieux.

Dans la seconde partie du travail, il se base sur les propriétés ainsi comprises du rayonnement, en les étendant au rayonnement négatif, ou d'absorption, et définissant un « rayonnement gravifique », ensemble des radiations absorbables par la matière. Deux masses voisines recevraient moins de radiations sur leurs faces en regard l'une de l'autre que sur les faces opposées ; les pressions de radiation ne s'équilibrant plus, les deux masses tendent à se rapprocher. L'auteur explique alors par voie de déduction, parfois simplement esquissée, l'attraction newtonienne, l'inertie, la cohésion, la capillarité, le déplacement du périhélie de Mercure et la dépendance de la masse cinétique de la vitesse. Il ébauche enfin une interprétation de l'électricité et du magnétisme.

Toute synthèse théorique physique suppose nécessairement des postulats. Ceux de M. Michaud se rapportent à des notions déjà complexes ; mais les notions ne sont-elles pas souvent simples seulement en apparence ? D'ailleurs les principes de la thermodynamique, par exemple, ne sont-ils pas aussi complexes ? Furent-ils par cela moins féconds ?

H. Dopp.

L'erreur de M. Einstein. L'inacceptable théorie. L'éther et le principe de relativité, par Marcellin Duboca, professeur de physique au Lycée de Dijon. — Une brochure de 45 pages (25 × 16).— Paris, Gauthier-Villars, 1922.

Voici : Einstein n'aurait créé qu'une théorie pseudo-relativiste. Admettant le « principe de relativité » (le vrai) pour les longueurs, les durées et les masses, c'est-à-dire l'indépendance des mesures de ces grandeurs vis-à-vis du mouvement

(1) Pages 18 et 19.

du système de référence dans lequel on les mesure, il aurait traduit l'expérience de Michelson et Morley en une proposition inconciliable avec ce principe.

Je ne puis me ranger à l'avis de l'auteur. Les expériences sur l'entraînement de l'éther semblent prouver que celui-ci n'est pas déplacé avec l'atmosphère terrestre. Einstein, comme la plupart des physiciens d'ailleurs, a pu prétendre que dans l'appareil de Michelson les deux bras à angle droit se déplacent différemment par rapport au milieu de transmission de la lumière. Ces deux bras sont de réels systèmes de référence physiques. Que les franges d'interférence ne se déplacent pas quand on fait tourner l'appareil, on est en droit d'interpréter le fait en disant : la lumière se propage également vite dans les deux systèmes.

H. Dopp.

Le principe de la relativité et les théories d'Einstein, par Louis-Gustave Du Pasquier, Professeur de Mathématiques supérieures à l'Université de Neuchâtel. — Un vol. de xvi-530 pages (19×13), avec 37 figures dans le texte. — Paris, Doin, 1922. — 20 francs.

Cet ouvrage, d'allure didactique, conduit le lecteur en graduant les difficultés du sujet, en marquant bien l'acheminement vers les notions nouvelles, en retournant celles-ci sous plusieurs faces et à loisir, pour donner en quelque sorte à l'esprit le temps de s'y faire. Qui désire une connaissance assez détaillée des théories relativistes, la trouvera ici. S'il en possède déjà quelque idée, les premiers chapitres, sur la relativité restreinte, lui paraîtront touffus et surchargés d'exemples et de calculs concrets ; mais qu'il passe rapidement sur ces pages écrites seulement pour les moins initiés ; parvenu à l'exposé de la théorie générale, il ne pourra manquer d'être vivement intéressé et content de suivre l'auteur dans le détail d'explications très heureusement disposées, du moins en général. Il se félicitera de cette documentation très complète et riche en références bibliographiques de premier choix. Le plaisir de comprendre et d'apprendre lui fera pardonner quelques inélégances du style et le grand nombre de néologismes propres à l'auteur.

La théorie de Weyl, généralisation de celle d'Einstein,

est exposée de façon particulièrement nette ; et l'auteur rend judicieusement compte des objections qui s'attachent encore à la forme actuelle de la théorie relativiste de l'électromagnétisme.

H. Dopp.

Exposé élémentaire de la théorie d'Einstein et de sa généralisation, suivi d'un appendice à l'usage des mathématiciens, par J. Becquerel, professeur au Muséum d'histoire naturelle. — Un vol. de 205 pages (16 × 11) avec 17 fig. dans le texte. — Collection Payot. — Paris, Payot 1922. — fr.

« La théorie actuelle pourra être retouchée ou plutôt complétée, surtout en ce qui concerne les hypothèses cosmologiques, la généralisation de la théorie d'Einstein et l'interprétation philosophique des lois. Mais ce qu'on peut affirmer, c'est qu'un retour en arrière, vers les idées encore enracinées dans quelques esprits, est une chose impossible » (1). C'est par ces mots que l'auteur termine son opuscule écrit pour répandre les idées nouvelles.

Son manuel se distingue par la netteté de l'exposé : il montre clairement les notions fondamentales postulées dans les théories classiques et les raisons d'adopter les notions nouvelles qui permettent d'exprimer les lois de la Nature indépendamment du système servant à repérer les événements.

Ces lois reçoivent dès lors une expression très générale et très abstraite en calcul tensoriel, ou absolu. On n'en a plus l'intuition directe ; pour les comprendre, il faut déchiffrer les équations qui les expriment. Dans ce livret très maniable et avenant, il va sans dire qu'on n'a pu démontrer ces équations ; mais on a trouvé très heureusement le moyen de dire tout le nécessaire pour permettre d'en saisir la signification. Bien des lecteurs aimeront surtout l'appendice écrit pour les mathématiciens. C'est un formulaire exquis de la relativité.

H. Dopp.

(1) P. 133.

La théorie de la relativité exposée sans mathématiques, par Paul Kirchberger. Traduction française par Marcel Thiers, ancien élève de l'École Polytechnique. — Un vol. de 218 pages (19×12).— Paris, Payot, 1922. — 5 fr.

Cet ouvrage, préfacé par M. von Laue, en était en novembre 1921 à sa troisième édition, au bout d'un peu plus d'une année. Le lecteur auquel on s'adresse est « celui qui, s'il ne se soucie pas de la forme de la transformation de Lorentz, s'intéresse cependant aux idées fondamentales : relativité du temps et de l'espace, possibilité de vérifier la théorie par les faits ». Ce lecteur devra s'accommoder d'une certaine imprécision et de quelques longueurs dans l'exposé ; qu'il s'en prenne moins à l'auteur qu'à lui-même, puisqu'il veut saisir sans mathématiques une théorie toute basée sur elles.

H. D.

Une nouvelle figure du monde. Les théories d'Einstein, par Lucien Fabre. Nouvelle édition épurée, accrue de notes liminaires, d'un exposé des théories de Weyl et de Painlevé, et de trois notes de MM. Guillaume, Brillouin, et Sagnac sur leurs propres idées. — Paris, Payot, 1922. — 7,50 fr.

Cet ouvrage, analysé dans la Revue en juillet 1921, p. 216, atteint actuellement le 28e mille ; preuve de l'intérêt qui s'attache à la question. L'épuration annoncée sur la nouvelle couverture du livre a consisté à supprimer les déclarations de M. Einstein, « dont les autographes, dit l'auteur, demeurent entre mes mains pour exercer la sagacité des psychologues futurs » (1).

Les appendices nouveaux sont peu développés et plus techniques que l'ouvrage. Celui qui est dû à M. Brillouin est significatif. Cet éminent professeur, qui publia avant la guerre des « propos sceptiques sur la théorie de la relativité », écrit aujourd'hui, en soulignant la phrase : « Je ne connais aucune raison scientifique d'être anti-relativiste ».

H. Dopp.

(1) Notes liminaires, p. 16.

Le principe de la relativité et la théorie d'Einstein, par Léon Bloch, Docteur ès sciences. — Une brochure de 42 pages (23×14). — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — 3,50 fr.

Deux conférences faites en novembre dernier à l'École supérieure des Postes et Télégraphes de Paris. Elles s'adressent, non pas au grand public, ni aux spécialistes de la physique, mais à des esprits cultivés, curieux de posséder un aperçu sur la physique nouvelle. Le conférencier met avec bonheur en relief l'évolution suivie par la pensée d'Einstein. Il insiste sur cette idée très juste que la théorie nouvelle est essentiellement tirée de l'expérience, et que, fidèle aux méthodes des Copernic et des Newton, elle veut en perfectionner le rendement par l'abolition d'hypothèses trop étroites.

H. Dopp.

La teoria de la relatividad en la fisica moderna. Lorentz, Minkowski, Einstein, par José Ubach, S. J. Une brochure de 45 pages (23×16). — Buenos-Ayres, de Amorrortu, 1920; Tortosa (Espagne), Observatorio del Ebro.

En une série de conférences au Collège del Salvador de Buenos-Ayres, l'auteur a voulu faire un exposé simple de la théorie de la relativité. Il a pu supposer chez ses auditeurs la connaissance du calcul infinitésimal ; et plus d'une fois, sans paraître redouter leur émoi, il les met en présence de systèmes d'équations passablement abstraits, comme celui du champ électro-magnétique d'après Mawxell-Lorentz. D'autre part, l'allure générale de ses explications est plutôt élémentaire.

A chaque idée nouvelle surgissant dans le développement de ces théories « révolutionnaires », les remarques critiques de l'auteur dénoncent des postulats gratuits, la méconnaissance des concepts classiques de l'espace et du temps absolus, le passage illégitime d'équations purement formelles à leur interprétation dans l'espace-temps. Quant aux expériences invoquées en faveur du renversement des conceptions reçues, il insiste sur leur excessive délicatesse. Il faut, dit-il, s'en tenir aux théories claires, sanctionnées par une expérience

très variée et très complète, et surtout exemptes de conséquences paradoxales.

L'auteur exagère, je pense, en taxant de philosophie idéaliste une théorie qui prétend simplement se maintenir au point de vue phénoménal, exprimer et prévoir la réalité sensible comme elle nous apparaît.

H. Dopp.

La théorie einsteinienne de la gravitation. Essai de vulgarisation de la théorie, par Gustave Mie, professeur de physique à l'Université de Halle. Ouvrage traduit de l'allemand (par J. Rossignol). — Un vol. de xix-140 pages (19×12). — Paris, Hermann, 1922. — 4,50 fr.

« L'auteur expose telles qu'il les entend les idées directrices sur lesquelles peut s'édifier la théorie de la gravitation sous sa forme actuelle, de sorte que cet ouvrage est plutôt une analyse critique des principes fondamentaux de la théorie qu'une étude de cette théorie elle-même » (1).

Le physicien veut au moyen de ses mesures donner une représentation raisonnable de l'univers et le moyen d'en prévoir les phénomènes. Se plaçant à ce point de vue, M. G. Mie montre que certains axiomes de la métrique classique ne s'adaptent plus à l'expérience perfectionnée. Pour lui les corpuscules matériels élémentaires ne sont que des grains d'énergie dans un substratum universel ou éther, champ de force à la fois et « vide physique » susceptible de perturbations électromagnétiques. La seule présence de la matière modifie l'état de l'éther environnant, et réciproquement l'état de ce dernier influe sur la matière. La loi de la gravitation d'Einstein précise ces influences mutuelles en tenant compte de leur indépendance relativement au choix d'un système de référence. M. Mie reconnaît avec Einstein que tous les systèmes imaginables peuvent servir logiquement pour la description des phénomènes de la nature dans un domaine assez restreint ; mais il n'admet pas comme lui leur équivalence complète. Partant du principe de bon sens que ce qui paraît simple doit être décrit en termes simples, il

(1) Préface des traducteurs, p. V.

pense que dans chaque cas particulier la raison impose au physicien un système de coordonnées bien déterminé.

Cette brochure écrite par un relativiste renommé méritait d'être rendue accessible au lecteur français. La traduction en est excellente.

H. Dopp.

VI. — Le premier livre de l'amateur en T. S. F., par Joseph Roussel.— Un vol. de 308 pages (17×25), 2e édit.— Paris, Vuibert, 1922. — 15 francs.

Secrétaire général de la Société française d'étude de Télégraphie et de Téléphonie sans fil, M. Roussel peut mieux que personne fournir des renseignements pratiques et actuels sur la T. S. F.

L'attente du lecteur n'est pas trompée.

Le but du 1er livre est de vulgariser, mais « non pas en éliminant les vérités et les explications qui pourraient paraître trop arides à première vue ».

M. Roussel indique d'une façon simple et concrète, les diverses constructions ordinaires : Réception, amplification, inscription, haut-parleur ; un schéma de poste complet est particulièrement digne de remarque.

Puis, après quelques renseignements utiles, tels que les indicatifs principaux, les codes, les cartes situant les postes européens, l'auteur, par un exposé clair, donne à ce travail manuel décrit dans la 1re partie, un intérêt scientifique : Les notions d'arithmétique usuelle de T. S. F. se concrètent et permettent à l'amateur de mesurer ses appareils, d'effectuer quelques calculs. Qui l'empêcherait dès lors d'apporter par ses contrôles, sa quote-part au mouvement scientifique ?

Dans un appendice, plusieurs idées intéressantes provoquent les initiatives : l'usage de l'électromètre capillaire, un aperçu sur les phénomènes d'interférence, l'enregistrement graphique des orages. En ce dernier point M. Roussel souhaite avec raison « que tout observatoire soit doté d'appareils enregistreurs permettant de recueillir, conserver et étudier à loisir les dépêches météorologiques européennes et de compléter ces documents par la marche graphique des orages ».

Ces aperçus un peu trop rapides et les derniers articles écrits par M. Roussel dans LA NATURE, font souhaiter la prompte apparition déjà annoncée du 2e *livre de l'Amateur en T. S. F.*

J. D.

VII. — MANUEL DE L'ÉLECTRICIEN. INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES PARTICULIÈRES, par P. MAURER. — Un vol. de 273 pp. (10 × 16). Bibliothèque professionnelle. — Paris, Baillière, 1922.

Les ouvriers vieillis dans le métier, ou disséminés au fond des provinces, ne peuvent bénéficier de l'enseignement professionnel. Comme seul recours, il leur reste le livre ; « le livre bien fait qu'on a toujours sous la main, qui est toujours prêt à répondre, qui a prévu toutes les difficultés et sait les résoudre d'une façon claire, le livre abondamment illustré qui montre le maniement de chaque outil, expose les tours de main, le livre qui joint à un savoir solide le savoir-faire qui est tout aussi indispensable ».

Ces lignes, empruntées à la préface de M. Dhommée, indiquent l'esprit dans lequel l'auteur a composé son manuel. Disons de suite que le but proposé a été pleinement atteint : condenser en quelques pages tous les éléments nécessaires à l'établissement d'une installation électrique et cela d'une manière claire et pratique tant pour le technicien que pour l'ouvrier. Il serait difficile de présenter avec plus de méthode et d'une manière plus succincte les menus détails de toute une installation, les différents modes de montage et surtout les notions techniques indispensables.

Un rapide coup d'œil sur la table des matières achève de convaincre le lecteur qu'il a en main le véritable manuel « pratique », le « livre de poche » l'emportant sur ses concurrents, les « vade-mecum » de 700 à 900 pages, vrais dictionnaires encyclopédiques de l'électricité.

Dans un premier chapitre M. Maurer traite des divers systèmes employés pour la distribution de l'énergie. Il s'y arrête peu.

Le second chapitre, plus important, fournit tous les ren-

seignements nécessaires à l'établissement d'un devis, et par là même tout ce qu'il est utile de prévoir pour l'installation, suivant un plan très simple : le développement même du circuit depuis le compteur ou le limitateur jusqu'à la dernière lampe. Signalons parmi les meilleurs passages ceux où M. Maurer traite des limitateurs de courant en usage dans la vente à forfait, et des différentes sortes de compteurs.

Les deux questions capitales de l'isolement de l'installation et de sa résistance à l'échauffement, sont traitées avec plus d'ampleur et d'une façon tout aussi pratique que les autres ; la formule fondamentale du calcul des conducteurs, qu'on cherche parfois en vain dans d'autres auteurs, est expliquée et illustrée par un bon nombre d'exemples. Plusieurs tableaux complètent cet exposé.

Suivent quelques données sur les lampes, leur fabrication et leur rendement et voici l'électricien en mesure de passer à l'installation même. Cette opération est décrite au cours du troisième chapitre. Tous les genres de montage y sont définis : montage en fils apparents sur poulies, sur serre-fils ou sur cloches, montage en fils souples, montage sous moulures, sous tubes apparents ou noyés dans la maçonnerie : tous ces renseignements permettront, moyennant un peu d'adresse, de réaliser un travail soigné et élégant.

Le quatrième chapitre groupe quelques données intéressantes sur le chauffage électrique dont les progrès s'accusent de jour en jour.

Le chapitre final nous dévoile quelques secrets relatifs à l'installation des sonneries et des tableaux indicateurs. Ici encore de nombreux plans rendent simple le montage de ces derniers appareils. Une table des matières très détaillée complète le volume. Elle fait regretter l'absence d'une table alphabétique.

L. C.

VIII. — Dictionnaire anglais-français-allemand de mots et locutions intéressant la physique et la chimie, par R. Cornubert, ingénieur chimiste, docteur ès sciences physiques. — Un vol. de xxxiii-297 pages (25 × 16). — Paris, Dunod, 1922. — Broché : 42 fr. Reliure, 5 fr. en sus.

Ce livre est un supplément très utile aux dictionnaires usuels. Au cours de ses études en Allemagne, en Angleterre, en Autriche et en France, l'auteur s'est attaché à se perfectionner dans la connaissance du vocabulaire technique en notant sur une fiche chaque élément acquis. De ce travail résulta en 1913 un Dictionnaire allemand-français et français-allemand, ébauche du présent ouvrage. Pour y ajouter la langue anglaise, et éviter pourtant des répétitions inutiles, on a eu recours à une très ingénieuse disposition en trois colonnes parallèles : anglais, français, allemand. Imprimés en gras, les mots directeurs de l'ordre alphabétique commun à l'ensemble des mots se succèdent tantôt dans une colonne, tantôt dans une autre.

L'auteur a estimé sagement qu'en ce qui concerne la chimie et la minéralogie il était impossible d'introduire les noms de tous les sels minéraux ou de tous les composés organiques. Il a donc placé en tête du recueil des « Considérations générales » traitant des sujets les plus importants relatifs au vocabulaire allemand, le vocabulaire anglais étant de soi très accessible aux Français. Ces règles de nomenclature allemande, ainsi que les tableaux des principales abréviations allemandes et anglaises, complètent le vocabulaire et ajoutent à son incontestable utilité.

I. P.

IX. — Les disciplines d'une science : la Chimie, par G. Urbain, professeur à la Faculté des sciences de Paris. Avec figures dans le texte. — Un vol. in-16 de 325 pages de l'Encyclopédie scientifique.— Paris, Doin, 1921. — 12 francs.

Le livre du professeur Urbain n'est pas un traité scientifique dans le sens ordinaire du mot ; c'est plutôt un examen mi-scientifique, mi-philosophique des principes, des bases de la science chimique. L'auteur a soin d'ailleurs de nous faire connaître dans son Introduction le but qu'il se propose : « Mes idées sur la science ont bien changé depuis ma jeunesse. Il ne faudrait pas croire que la science elle-même m'ait déçu. Elle m'intéresse et je l'admire plus que jamais, mais d'une autre manière. Ce que j'en pense aujourd'hui me paraît être très supérieur à ce qu'on m'en avait dit autrefois, et c'est la conscience de ce progrès qui m'a décidé à écrire

ce livre.... Je pense qu'il pourra être utile aux jeunes qui se sentent attirés par la recherche. Il leur évitera de connaître les incertitudes et les doutes par lesquels j'ai passé. C'est une mise au point à partir de laquelle ils pourront s'engager, sans espoirs vains et sans illusions inutiles, dans les voies difficiles de la science expérimentale ».

Dans ses idées philosophiques, M. Urbain adhère à l'école positiviste ; pour lui, en dehors des faits d'observation, pas de certitude possible ; pareille position pourrait se soutenir dans le domaine propre des sciences expérimentales, mais il est regrettable que M. Urbain ait voulu l'étendre au domaine philosophique et nier en conséquence la valeur des principes rationnels et métaphysiques. Quoique adhérant au positivisme, M. Urbain trouve cependant qu'on ne doit pas aller trop loin et, sous prétexte de n'admettre que ce qu'on peut constater par l'expérience, rejeter toute hypothèse, toute théorie : la science a besoin d'hypothèses, de systèmes. La science en effet doit être une adaptation de nos moyens intellectuels aux données sensibles de l'univers. « Supprimer l'hypothèse, c'est paralyser l'intelligence ; c'est condamner l'esprit à ne donner aucun corps aux sensations ; c'est dessécher l'imagination sans laquelle on ne peut prévoir. C'est tuer la science non seulement dans sa partie théorique, mais encore dans sa partie expérimentale. C'est condamner l'homme à une irrémédiable déchéance. »

Deux théories se partagent les préférences des chimistes : l'énergétisme et l'atomisme ; « les fervents de l'une et de l'autre se battent entre eux sous le regard intéressé des philosophes qu'ils ont appelés à la rescousse. Querelles d'écoles, où la différence des points de vue masque les buts communs à atteindre. Les deux adversaires ont inscrit sur leurs drapeaux *unité de doctrine*. C'est là une belle devise.... Mais son caractère trop général, trop absolu m'inquiète ». Pour M. Urbain, la théorie en effet n'est pas, ne saurait être une explication des phénomènes, c'est un moyen de classer, de prévoir. Or, les écoles atomique et énergétique sont toutes deux florissantes, et ce serait mutiler la science que de sacrifier l'une pour l'autre ; chacune a son domaine propre : l'énergétique, par exemple, suppose la réversibilité, ce qui n'est pas possible avec les éléments à faible électro-affinité

que domine la contrainte chimique, et ne se vérifie qu'avec les éléments à forte électro-affinité qui se trouvent dans le domaine de la mobilité, et c'est ainsi que l'auteur explique pourquoi en général les auteurs qui traitent de la chimie organique sont atomistes, tandis qu'en chimie minérale on trouve de préférence les énergétistes.

M. Urbain a partagé son livre en trois parties : les classifications, les invariants, les symboles ; c'est un exposé succinct, mais clair des principales théories de la chimie générale, et cet exposé M. Urbain nous le présente avec toute la compétence qu'il a acquise dans le domaine de la chimie ; signalons seulement son abrégé historique remarquable de la théorie atomique, de la classification, etc. Pour certains points on pourra ne pas être de l'avis de l'auteur, mais il est certain que tout le monde lira avec intérêt et avec fruit le livre du savant professeur de la Sorbonne.

J. P.

X. — Die Theorie der Allotropie, par A. Smits, professeur à l'Université d'Amsterdam. — Un vol. in-8° de XVI-501 pages, avec 239 figures dans le texte. — Leipzig, J. Barth, 1921.

Depuis quelque temps, l'auteur, F. Dolezalek, C. Benedicks et quelques autres savants travaillent à restituer le rôle qui lui revient à l'ancienne conception chimique de la constitution des substances solides, fluides et gazeuses, point de vue que, pendant de longues années, l'hypothèse cinétique fit à tort reléguer à l'arrière-plan.

En 1906, A. Smits exprima l'opinion que les systèmes à un seul composant doivent être considérés comme régis par la théorie des phases. C'était aller à l'encontre de l'avis général des physico-chimistes, qui s'imaginaient ce sujet complètement exploré, seule l'étude de systèmes plus compliqués pouvant, selon eux, fournir de nouveaux points de vue.

En général, tous les corps, y compris les Éléments, les gaz idéaux exceptés, ne sont pas, comme on l'affirme souvent, monomoléculaires, mais sont constitués de mélanges de différents polymères (substances de même composition relative) ; et si un corps peut exister sous diverses

formes plus ou moins stables, elles ne se distinguent que par les proportions suivant lesquelles les composants sont mélangés. Bien qu'il y ait encore beaucoup à faire avant que l'importance et la simplicité de cette conception puissent s'affirmer d'une manière générale, les résultats acquis à ce jour n'en sont pas moins sérieux.

L'auteur s'est particulièrement occupé de l'application de ses idées au problème de l'allotropie, dont il créa la théorie dès 1910 et qu'il développa ensuite, avec plusieurs collaborateurs, suivant diverses directions. Transportée dans le domaine de l'électrochimie, cette conception permit de créer une théorie de l'équilibre électromoteur capable d'expliquer, d'une manière simple et uniforme, notamment la polarisation cathodique et anodique et la passivité.

A. Smits donne ici un exposé d'ensemble de ses vues théoriques et des résultats expérimentaux y relatifs. Il importe d'observer que son livre ne traite pas des phénomènes de l'allotropie, mais seulement de la théorie ; il ne signale que les seules expériences qui en constituent des épreuves.

L'auteur s'appuie, nous l'avons dit, sur la loi des phases et certaines conclusions qu'il tient pour solidement établies ne paraissent pas sûrement d'accord avec les faits. Il est probable qu'elles ne résisteront pas toutes aux critiques. Par contre, nous tenons à faire remarquer qu'une objection, en apparence très grave mais en réalité non fondée, est justement combattue par l'auteur : c'est que l'analyse des rayons de Röntgen rendrait insoutenable la notion moléculaire pour les solides, qui ne pourraient donc avoir de polymères. En fait, personne n'a jamais démontré que ces rayons auraient quelque chose à voir dans l'affinité de groupes d'atomes entre eux.

L'Ouvrage comporte deux parties : l'une (pp.1-222), purement théorique ; l'autre (pp. 223-425), expérimentale.

La première comprend sept chapitres. On pose d'abord (pp. 1-43) le fondement de la théorie et l'on indique le procédé de représentation graphique. Le second chapitre (pp. 44-72) s'occupe de la position des lignes d'équilibre interne dans les phases gazeuse et condensée ; le troisième (pp. 73-79), des systèmes pseudo-ternaires ; le suivant (pp. 80-104), des substances allotropes à milieu solvant

(tautomères, isomères, polymères) ; le cinquième (pp. 105-109) comporte quelques courtes indications sur les systèmes avec phase liquide-cristalline. L'un des passages qui se prêtent le plus à des objections est celui relatif aux phénomènes que les recherches de Smits permettraient de prévoir, par exemple, la variation de tension de vapeur par vaporisation rapide et de même pour la variation de solubilité. L'auteur y utilise la notion de « fausse association » *(Scheinassoziation)*, qui manque absolument de clarté. En réalité, elle n'est introduite que parce que des hypothèses purement cinétiques ne permettent pas d'arriver au but et qu'on a eu recours,d'une manière détournée, à la notion d'association. Un long chapitre (pp. 140-216), sur l'application de la théorie de l'allotropie à l'équilibre électromoteur, étudie le phénomène de polarisation anodique et cathodique. Les deux suivants (pp. 217-218, 218-222) font de brèves remarques respectivement sur l'équilibre photo- et électro-chimique et sur l'interprétation des spectres de Röntgen des cristaux.

La partie expérimentale ne comprend que deux subdivisions : l'examen de la théorie de l'allotropie par voie non électrique (pp. 223-399) et dans le domaine électrochimique (pp. 399-495).

Parmi les nombreux objets considérés dans le premier de ces deux chapitres, citons une étude détaillée du phosphore (pp. 239-247, 266-269, 280-328). Le sucre de lait (pp. 349-366) et l'aldéhyde acétique (pp. 377-398) sont traités avec d'assez longs développements.

Après diverses considérations générales se terminant par un historique (pp. 420-431) très bien fait des recherches sur la passivité, le second chapitre passe à l'étude du fer (pp. 431-436). Vient ensuite un examen, plus bref, du cas du nickel (pp. 477-486) et de l'aluminium (pp. 486-495).

L'Ouvrage, qui débute par une Table des matières (pp. IX-XVI), se termine par un index analytique (pp. 496-500). On peut regretter l'absence de liste des noms propres.

A. Smits, manifestement connaît à fond la littérature du sujet. Pas moins de 190 auteurs sont cités. Les références bibliographiques, au nombre de 340, sont données avec grande précision, au fur et à mesure de l'exposé.

A chaque page, des diagrammes facilitent considérablement l'intelligence du texte. Mais celui-ci devrait être remanié en certains endroits.

Malgré les réserves faites, la monographie de Smits apparaît comme un très intéressant travail, qui excitera le monde savant à s'occuper plus qu'il ne l'a fait jusqu'à présent d'une importante et féconde conception de la constitution chimique.

M. Lecat.

Distillation Principles and Processes, par Sydney Young, professeur de chimie à l'Université de Dublin, avec la collaboration de plusieurs auteurs. — Un vol. de XIII-509 p. (22×15), avec 210 figures dans le texte. — Londres, MacMillan, 1922.

Ce fort beau volume peut être considéré comme une nouvelle édition de l'ouvrage que l'auteur fit paraître, en 1903, sous le titre : *Fractional Distillation*. Écrit dans le but d'aider les chimistes à conduire les délicates opérations de la distillation fractionnée et à en interpréter les résultats, ce livre obtint dans le monde entier un beau succès, largement mérité. Expérimentateur de tout premier ordre, le professeur Young est une autorité en la matière.

Le développement extrêmement rapide que la chimie organique pure et appliquée a pris dans la seconde moitié du XIXe siècle explique l'immense intérêt théorique et pratique du sujet traité, car la distillation est le seul moyen efficace de séparation des constituants d'un mélange liquide. Ce procédé était connu dès l'origine de la chimie ; mais il n'est pas exagéré de soutenir que c'est grâce en grande partie aux travaux de Young et à son livre qu'on a commencé à bien comprendre les principes sur lesquels repose l'application de cette méthode.

La première section (pp. 3-230), rédigée par S. Young lui-même, s'étend sur une petite moitié du volume et consiste, comme le dit l'auteur, en une rédaction nouvelle de l'édition première, en tenant compte des nombreux faits expérimentaux apportés pendant les vingt années écoulées, par les travaux de Wade, Merriman, Finnemore, Rosanoff et ses collaborateurs, et Lecat. Cette partie traite successive-

ment de ce qui suit : appareils, table pour les corrections relatives à la pression, point d'ébullition d'un liquide pur ; tension de vapeur et température d'ébullition d'un liquide pur ; tension de vapeur et température d'ébullition des mélanges ; composition des phases liquide et vapeur (déterminée expérimentalement et théoriquement) ; généralités sur la manière de conduire une distillation fractionnée ; relations théoriques entre le poids et la composition du distillat ; relations entre la température d'ébullition du résidu et du distillat ; appareils de laboratoire perfectionnés et appareils industriels ; distillation fractionnée comme méthode d'analyse quantitative ; détermination de la composition des mélanges azéotropiques (1) et séparation indirecte de leurs composants ; etc.

Cette première partie se termine par un petit chapitre (pp. 222-228) sur la sublimation, chapitre manquant dans l'édition primitive. Son addition s'imposait, car la sublimation diffère de la distillation bien moins qu'on ne pourrait le croire à première vue, la pression pouvant faire naître l'état liquide intermédiaire. L'auteur considère quelques cas typiques (iode, soufre, anhydride arsénieux, chlorure d'ammonium).

Mais l'édition présente diffère de celle de 1903 surtout par le très grand espace qu'elle réserve à diverses applications industrielles de la distillation effectuée sur une grande échelle. C'est bien à raison, car la guerre mondiale a montré l'extrême importance de la fabrication de l'acétone, du toluène, de la glycérine, etc. La seconde moitié du volume comprend les chapitres suivants : Distillation industrielle de l'acétone et de l'alcool butylique normal (pp. 233-264), par J. Reilly et F. R. Henley. — Distillation de l'alcool sur l'échelle industrielle (pp. 267-318), par F. R. Henley et J. Reilly. — Distillation fractionnée appliquée à l'industrie du pétrole (pp. 321-357), par J. Kewley. — Distillation fractionnée dans l'industrie

(1) Les mélanges liquides bouillant à température invariable sous pression constante, étaient appelés « hylotropiques », par Wilh. Ostwald. L'auteur a heureusement préféré et adopté le terme « azéotropique », proposé, en 1911, par Wade et Merriman, et utilisé par Lecat dans son ouvrage de 1918, intitulé : *L'Azéotropisme*.

du goudron de houille (pp. 361-422), par T. Howard-Butler. — La distillation de la glycérine (pp. 425-440), par E. Briggs. — La distillation des huiles essentielles (pp. 443-489), par Th. H. Durrans.

Spécialistes ayant une grande expérience, les auteurs de ces articles sont d'une compétence hors ligne et sont bien dignes d'avoir été choisis pour collaborateurs de l'illustre savant de Dublin.

Dans ces chapitres, les descriptions ont pu être très concises, étant illustrées par des figures schématiques fort bien tracées ; elles visent particulièrement les aspects pratiques des différents procédés.

Comme divers auteurs s'occupent d'applications des mêmes principes physiques, on pouvait s'attendre à des répétitions comme il s'en présente dans beaucoup d'ouvrages rédigés par plusieurs collaborateurs ; ce défaut, sans être inexistant ici, a pourtant été évité dans une grande mesure.

Outre la Table des matières (pp. IX-XIII), il y a, à la fin du volume, un Index (pp. 491-495) des noms des auteurs, au nombre de plus de 420, et une Table systématique (pp. 496-509), fort bien faite. Critique de détail : l'Index n'est pas tout à fait complet, en ce sens que des auteurs sont cités parfois beaucoup plus fréquemment que ne l'indique cette liste. Les figures très nombreuses (il n'y en a pas moins de 210) consistent presque toutes en dessins linéaires très intelligibles, ce qui est particulièrement utile pour la partie industrielle.

Les données numériques, fort abondantes, sont réparties sur 128 Tables intercalées dans le texte. Signalons particulièrement, en raison de l'importance trop longtemps méconnue des mélanges azéotropiques (1), celles donnant (pp. 49-58) la liste de ceux de ces mélanges binaires et ternaires qui sont aujourd'hui connus ; ces Tables, qui ne figuraient dans la première édition qu'à l'état embryonnaire, ont été dressées avec le plus grand soin et — d'après les vérifications que nous en avons faites aux sources — elles seraient exemptes d'er-

(1) Nous connaissons de nombreux jeunes docteurs en sciences chimiques qui n'ont pas appris à l'Université l'existence des mélanges liquides bouillant à température constante !!!

rata, ce qui n'est pas sans mérite quand il y a des dizaines de milliers de chiffres.

D'exécution matérielle parfaite, cet ouvrage, mine inépuisable de renseignements, est indispensable à presque tous les chimistes et il ne pourra manquer à aucun laboratoire de recherches de chimie organique.

M. LECAT.

XI.— TRAITÉ PRATIQUE DE GÉOLOGIE, par PAUL LEMOINE, professeur de Géologie au Muséum d'histoire naturelle (d'après James Geikie, *Structural and Field Geology*), 2e édit. — Un vol. de VI-543 pages (25-16). — Paris, Hermann, 1922.

En faisant connaître, en 1910, au public de langue française le livre de James Geikie, intitulé *Structural and Field Geology*, M. P. Lemoine nous avait donné plus et mieux qu'une traduction : sans altérer les lignes essentielles de l'ouvrage anglais, par des allégements bien compris et des additions judicieuses, il en avait exposé la matière avec la clarté et la méthode qui ont toujours distingué les travaux des géologues de l'école française.

La lecture de l'édition actuelle, que M. Lemoine présente sous son nom seul, montre qu'il ne peut plus être question d'y voir une traduction, ni même une adaptation, au sens ordinaire du mot. Il s'agit bien de deux œuvres distinctes, écrites par des auteurs travaillant de manière personnelle à la réalisation d'un même but.

Les qualités qui distinguent la première version de M. P. Lemoine se retrouvent, dans cette édition nouvelle à un degré plus éminent. On y sent à chaque page que la plume est tenue par un géologue averti, qui puise à tout instant dans une expérience personnelle, acquise au cours de l'élaboration de travaux originaux déjà nombreux et très appréciés.

Le livre de M. Lemoine justifie amplement son titre de traité pratique. En dehors de la matière ordinairement exposée dans les manuels, on y trouve deux chapitres excellents, consacrés à la marche générale des études sur le terrain, ainsi qu'à la confection et à la lecture des cartes géologiques. La recherche des minerais et des matériaux utiles y est traitée en assez grand détail. Une bonne cinquantaine de pages sont consacrées à l'exposé des principes fondamentaux

de l'hydrologie et de leur application à la recherche et même au captage des eaux potables, des eaux minérales et thermo-minérales. Cette partie du traité constitue peut-être bien le meilleur exposé élémentaire qui ait été fait de la question en langue française. L'ouvrage se termine par un chapitre traitant de la géologie des sols et du sous-sol en vue des applications à l'agriculture.

D'autre part, en aucun endroit, la géologie pure n'est reléguée au second plan, et l'exposé de ses principes essentiels et de ses méthodes générales est fait de manière très complète et très sûre. On peut considérer le livre de M. Lemoine comme réalisant le but poursuivi parallèlement par lui et par James Geikie, de manière plus complète et plus heureuse que l'ouvrage anglais qui, à l'origine, lui a servi de modèle. Il n'y aurait rien d'étonnant à ce que l'accueil qui lui sera fait par le public international dépassât de beaucoup la fortune de l'édition anglaise. Le cas s'est réalisé pour la *Face de la Terre* d'Ed. Suess, beaucoup moins lue aujourd'hui dans le texte original que dans la magistrale version française, qu'en ont donnée M. E. de Margerie et ses collaborateurs. Ce rapprochement n'est pas un médiocre éloge du travail de M. Lemoine, mais il est pleinement mérité.

On ne s'attend pas, cependant, à ce que l'analyse d'un livre nouveau ne soit tissue que de louanges. M. P. Lemoine a trop d'esprit pour ne vouloir accepter que des roses sans épines.

Dans son introduction, nous lisons que « si la détermination des fossiles est d'un haut intérêt, elle ne peut être faite avec certitude, donc avec fruit, que dans les laboratoires bien outillés, avec des bibliothèques et des collections très complètes ».

On ne peut pas mieux dire. Le lecteur s'attend à trouver ensuite une déclaration analogue au sujet de la détermination des minéraux et des roches, celle-ci, comme l'étude des fossiles, relevant d'une discipline spéciale, qu'on ne peut appliquer que dans des laboratoires bien outillés.

Tel ne paraît pas être l'avis de M. P. Lemoine, qui tente d'initier le lecteur à l'étude micrographique des minéraux et des roches. Peut-il vraiment penser que les *cinq* pages qu'il y consacre peuvent offrir quelqu'utilité pour le débutant, ou quelqu'intérêt pour le lecteur déjà initié ?

La vérité est qu'un traité comme celui de M. Lemoine, pour donner tout son fruit, appelle la publication de deux ouvrages conçus dans le même esprit, c'est-à-dire en vue des applications au travail courant du géologue, de la paléontologie d'une part, de la minéralogie et de la lithologie d'autre part. De pareils ouvrages, rédigés à l'initiative et sous l'inspiration de M. P. Lemoine, formeraient avec le sien un précieux instrument d'initiation pour les débutants et un aide-mémoire de première valeur pour les autres.

Souhaitons qu'il en soit bientôt ainsi ; souhaitons aussi à M. Lemoine un correcteur plus attentif. La coquille a sévi dans la composition de son livre avec une intensité qui semble avoir découragé le rédacteur de la feuille d'errata. On lit, par exemple :

p. 10. cristaux de Verre (?) en inclusions dans le quartz.
p. 14. L'oligiste est *opaque* en lames minces.
p. 41. La Titanite cristallise en *losanges*.
p. 124. Ampelis pour αμπελος.
p. 154. breccia pour brèche.
p. 394. Lechstein et p. 395. Leschtein pour Zechstein.
p. 470. Eaux vaseuses pour eaux vadeuses, etc.

Il n'est peut-être pas trop tard pour enrichir quelque peu les errata, qui sont imprimés sur une feuille détachée et ne comportent pas vingt lignes.

F. Kaisin.

XII.— A la gloire de la terre. Souvenirs d'un géologue, par Pierre Termier, de l'Académie des Sciences. Bibliothèque française de philosophie. — Nouvelle Librairie Nationale, Paris. — Un vol. in-8° de 427 pp. — 15 francs.

Comment mieux dire ce qu'est ce livre qu'en citant les premières lignes par lesquelles l'auteur ouvre ces pages ? « Je rassemble ici des feuillets épars. Mes élèves les reconnaîtront sans doute ; ils se rappelleront, en les lisant, l'ardeur avec laquelle j'ai essayé de les initier à la contemplation de l'œuvre divine. D'autres aussi, peut-être, les reconnaîtront, voyageurs rencontrés par moi sur divers sentiers de la science et devenus bien vite, en raison de la communauté de nos goûts et de l'analogie de nos recherches, mes collaborateurs et mes amis. Beaucoup de ces pages sont déjà

anciennes et ont été écrites dans les jours heureux; quelques-unes datent de la guerre et portent le reflet de l'énorme tristesse qui pesait sur moi comme sur tous les hommes ; les dernières, très récentes, voudraient être sereines, mais, dans les temps inquiets où nous vivons maintenant, combien la sérénité est difficile, même au savant, même au penseur ! »

Si varié et si divers que soit ce recueil, il présente néanmoins un caractère profond d'unité, admirablement rendu par son titre. Cet hommage, ce cantique chanté en l'honneur du grand œuvre du Créateur, nous montre le savant, le penseur, le connaisseur d'hommes, le chrétien, qui, dans un langage impeccable et d'un classicisme tout français, concentre toutes ses facultés sur l'objet de ses méditations enthousiastes.

Il est peut-être osé d'établir une gradation parmi les parties de l'ouvrage. Mais, sans doute parce que plus parfaitement humaines, ce sont les études biographiques sur trois grands géologues, trois maîtres, *Hippolyte Lachat*, ancien élève de notre Université de Liége, *Marcel Bertrand* et *Edouard Suess*, qui marquent tout particulièrement. Dans une langue pure, mesurée et empreinte de la plus noble charité, M. Termier y fait revivre ces nobles âmes et, pénétrant leurs pensées, expose dans un raccourci limpide les grands traits de l'œuvre scientifique dont ils ont enrichi le savoir humain.

Ces trois savants se sont surtout préoccupés du problème fondamental de l'architecture terrestre : la tectonique. M. Termier a toujours eu, lui aussi, une préférence pour ces mystérieuses manifestations de la puissance de Celui « qui a fait surgir les montagnes et qui, de son doigt, a désigné à la mer ses limites». De là, ses superbes études sur *La synthèse géologique des Alpes, dans la Méditerranée occidentale ;* sur *Les problèmes de la géologie tectonique ;* sur *Les océans ;* et sur *L'Atlantide*, qui forment comme le cœur du présent ouvrage. Les initiés s'y délecteront, mais tout lecteur curieux et attentif sentira son âme s'y enflammer, son « âme qui ignorait sa force et sa destinée, et que l'amour de la Terre fixera désormais dans l'étude spéculative, dans la recherche désintéressée, dans la contemplation de l'Univers magnifique, dans l'indicible joie de voir, de connaître, de comprendre ».

Bien qu'un modeste compte rendu ne puisse, quoi qu'il en ait, se laisser aller à de longs développements, qu'il nous soit permis de signaler encore *Les sciences de la terre*, et *A la géologie*. On y sentira vibrer l'âme du savant et l'on comprendra qu'en parlant de sa science, il ait su trouver des paroles assez élevées pour arracher à une assemblée de froids observateurs de la rude Nature, le vœu de lui décerner un brevet de *géomystique*. Dans cet ordre d'idées, nous ne saurions douter que plusieurs de ses auditeurs ne regretteront, avec nous, de ne pas retrouver parmi ces pages l'inoubliable « méditation » qu'il nous fit un soir, un de ces beaux soirs lumineux, des hautes latitudes, au parc de Skansen de Stockholm. Mais, n'était-ce pas une improvisation ? Car les élans, qu'une âme pareille conçoit au contact de la Nature, ressemblent, à s'y tromper, aux accents que « les enfants dans la fournaise » trouvèrent pour louer à jamais l'œuvre du Créateur. Nous ne comprenons que trop que M. Termier leur ait emprunté l'épigraphe si appropriée de ce recueil.

G. Schmitz, S. J.

L'Océanographie, par J. Thoulet, professeur honoraire à la Faculté des Sciences de Nancy. Un vol. in-16 carré, IX et 287 pp., 8 fig., de la collection « Science et Civilisation » publiée sous la direction de M. Solovine. — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — 9 francs.

M. Solovine a été on ne peut mieux inspiré en demandant à M. Thoulet de mettre au point l'état de nos connaissances sur l'Océanographie dans cette excellente collection, qui veut « faire connaître au public cultivé les résultats obtenus dans les divers domaines où s'exerce l'activité de l'esprit humain ».

Il y a une trentaine d'années déjà, que nous avons eu la faveur d'entretenir les lecteurs de la Revue des Questions scientifiques d'ouvrages de M. Thoulet sur cette science. Nous aurons dit tout le prix qu'il convient d'attacher à la synthèse que nous avons sous les yeux, en signalant, qu'au cours de sa longue et féconde carrière, le professeur des Facultés de Nancy a publié plusieurs centaines de mémoires et d'études touchant le même objet. Personne ne discutera à l'auteur le droit de parler en spécialiste averti.

Le géologue, le biologiste, le géographe, le navigateur et jusqu'au simple curieux des choses de la Nature, tous liront ce livre avec intérêt. Ils y trouveraient encore une satisfaction plus complète si, pour un objet aussi particulier, le texte était éclairé par une illustration plus nombreuse.

On ne rencontrera pas seulement, dans cet ouvrage, toutes les notions qui constituent la « science de l'océan » (Topographie, lithologie, physique de la mer L'eau de la mer et la glace Les vagues, les marées et les courants), mais le lecteur y verra aussi exposées avec précision les méthodes expérimentales les plus éprouvées qui ont servi à élucider les problèmes si complexes que posent les abîmes océaniques. C'est un des aspects les plus captivants de la « face de la terre ».

Tout en convenant que les dimensions du volume, arrêtées pour la Collection, ont imposé à l'auteur une limitation quelque peu artificielle de ses développements, nous regrettons qu'il ne se soit pas plus étendu sur la vie dans les milieux marins. Cette description comporte moins de dix pages !

Enfin, la trop fameuse Mer des Sargasses est simplement nommée tout à la fin du volume, alors qu'une croisière du professeur John J. Stevenson a projeté une lumière nouvelle et définitive sur la question.

G. Schmitz, S. J.

XIII. — Nutrition de la Plante. I. Échanges d'eau et de substances minérales. II. Formation des substances ternaires, par Marin Molliard, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. Deux vol. in-16 de 438 et 395 pages. Bibliothèque de Physiologie et de Pathologie végétales de l'Encyclopédie scientifique. — Paris, Doin, 1921. — Le vol 14 francs.

Sur les quinze volumes que doit comprendre la Bibliothèque de Physiologie et de Pathologie végétales de l'Encyclopédie scientifique, M. Molliard en rédigera huit, comprenant toutes les questions strictement physiologiques. « On a pensé, nous dit la préface, qu'il y aurait peut-être intérêt à ce que les diverses parties de la Physiologie végétale

soient traitées dans cette collection par un auteur unique ; j'admets volontiers que l'ensemble y gagnera en homogénéité, je voudrais être assuré qu'il n'y perdra pas en valeur. » Le savant auteur est vraiment trop modeste : les deux premiers volumes parus nous sont un gage de la haute valeur de l'ensemble, et on doit se réjouir de voir se combler enfin une lacune importante de la littérature scientifique française ; en effet, il fallait bien reconnaître que nous ne pouvions mettre entre les mains de nos étudiants aucun traité comparable à ceux des Jost, Noll, Detmer, Nathansohn, etc. Lorsque l'ouvrage de M. Molliard sera terminé, on possédera une mise au point complète de nos connaissances en Physiologie végétale.

Ni dans la distribution des matières, ni même dans les méthodes d'exposition, l'auteur ne s'écarte de l'ordre traditionnel : il nous en avertit d'ailleurs : « si l'on reconnaît de place en place certaines façons d'exposer les faits déjà utilisées par tel ou tel auteur, c'est que je n'ai pas pensé pouvoir leur en substituer de meilleures ».

Après avoir établi la composition chimique des substances minérales contenues dans les végétaux, il expose les méthodes synthétiques qui ont permis de déterminer la forme et la concentration requises pour que les aliments inorganiques soient assimilables par les plantes et pour que certains sels jouent un rôle toxique ou antitoxique. Les données anciennes sur le rôle de l'osmose pour l'absorption de l'eau et des sels sont bien résumées ; les phénomènes d'absorption colloïdale sont plus brièvement décrits, mais l'auteur évite à dessein d'aborder des théories permettant un exposé synthétique des processus d'assimilation vitale. Le premier volume se termine par un chapitre sur le sol, qui résume en ce qui concerne la nutrition minérale les problèmes agricoles les plus importants.

Dans le second volume on trouve successivement décrits des substances ternaires végétales et leur mode de formation. M. Molliard s'attache à mettre en évidence la continuité des processus physiologiques dans tout le règne végétal. Ainsi, après avoir exposé la nutrition carbonée des plantes sans chlorophylle, il revient aux plantes chlorophylliennes et montre « que la théorie de Liebig relative à la nutrition

purement minérale des plantes supérieures n'est pas absolument exacte ; ici comme à bien d'autres points de vue on peut répéter : *natura non facit saltus* et considérer nos cadres d'étude comme présentant une rigidité artificielle ».

Sans atteindre à une originalité à laquelle il ne prétend pas, le traité actuel se présente avec des qualités d'information sérieuse et de clarté d'exposition qui font désirer la prompte apparition des huit volumes promis.

LE PARASITISME ET LA SYMBIOSE, par MAURICE CAULLERY, professeur à la Sorbonne. Un vol. in-16 de 400 pages. Bibliothèque de Biologie générale de l'Encyclopédie scientifique. — Paris, Doin, 1922. — 14 francs.

Il y a quelque cinquante ans, P. J. Van Beneden, professeur à l'Université de Louvain, publiait un ouvrage sur *Les Commensaux et les Parasites*. « En le lisant aujourd'hui encore, écrit M. Caullery, on est frappé de la solidité et de l'étendue de la documentation zoologique. » Dans un demi-siècle le biologiste qui entreprendra une nouvelle mise au point de la question rendra certainement au savant professeur de la Sorbonne l'éloge que celui-ci adresse aujourd'hui à son devancier.

Il était difficile en effet d'apporter plus de discernement dans le choix des faits décrits et de coordonner d'une manière plus harmonieuse les données d'une littérature si touffue et les résultats d'observations personnelles longtemps poursuivies.

La part réservée aux théories est fort réduite dans ce volume : l'exposé objectif des faits absorbe toute l'attention de l'auteur : une profession de foi antifinaliste et évolutionniste dans la préface, quelques conclusions rapidement esquissées après certains chapitres et c'est tout. Le temps et les idées marcheront, les théories actuelles peuvent passer de mode ; M. Caullery espère peut-être en faisant aux théories la part congrue, que son ouvrage échappera à l'oubli qui couvre maintenant le livre de P. Van Beneden « qui n'appartient plus qu'au passé parce que : ... il est conçu dans un langage et un esprit très anthropomorphique... finaliste et providentiel, et en opposition formelle avec les doctrines évolutionnistes ».

E. E.

XIV. — De l'explication dans les sciences, par Émile Meyerson. Deux volumes in-8° de 338 et 469 pages. — Paris, Payot, 1921. — Prix : 40 fr.

Quiconque a pratiqué la recherche scientifique, et s'est donné la peine de réfléchir sur le rôle qu'y tiennent solidairement l'hypothèse théorique, l'invention des lois et la description des faits, souscrira sans peine à cette constatation paradoxale : que le sens exact d'une affirmation scientifique est plus malaisé à définir que le sens d'une thèse strictement philosophique.

On inviterait volontiers les esprits simplistes, que ce paradoxe scandaliserait, à lire les deux volumes de M. Meyerson. Ils ne seraient pas les seuls, d'ailleurs, à en trouver la lecture instructive et intéressante, d'abord à cause du style facile et clair (un professionnel de la philosophie souhaiterait, toutefois, une expression plus ramassée et plus rapide) ; ensuite, à cause de l'érudition consciencieuse, abondante et variée de l'auteur ; enfin, à cause de la portée même, qui y apparaît de plus en plus large,du problème posé : l'explication rationnelle de l'expérience. Ce problème, M. Meyerson a le grand mérite d'en faire vivement ressortir les termes essentiels et la pérennité dans l'histoire de la pensée. En fournit-il aussi la solution ? Nous n'oserions l'affirmer ; il la circonscrit plutôt qu'il ne la formule ; et c'est beaucoup déjà.

Le savant, écrit l'auteur, « cherche à comprendre la nature, c'est-à-dire à établir un *modus vivendi* entre notre raison et nos sensations » (II, p. 313).

Le savant cherche à « comprendre » la nature. « Comprendre », qu'est-ce à dire ? M. Meyerson montre très bien que la science empirique, en dépit de tous les efforts des théoriciens positivistes, reste essentiellement « ontologique », c'est-à-dire « ne peut se passer d'une réalité posée en dehors du moi ». Et cette exigence ontologique résulte elle-même de la tendance foncière de la science « à dépasser la recherche de la loi par celle de l'*explication* ».« La loi ne suffit pas à expliquer le phénomène. Elle joue certes un rôle immense dans la science, puisqu'elle permet la prévision et, partant, l'action. Mais elle ne contente pas l'esprit, qui cherche, au delà d'elle, une *explication* du phénomène » (I, p. 49).

Quand estimons-nous avoir « expliqué » un phénomène ?

Lorsque nous l'avons « déduit », c'est-à-dire lorsque nous avons établi un lien logique entre ce phénomène et un antécédent (I, p. 80) ; en d'autres termes encore, lorsque nous avons rattaché ce phénomène à une « cause », au sens le plus général de ce mot. Or, quels sont, en définitive, dans les phénomènes, les caractères qui, ne satisfaisant pas notre raison, exigent cette « explication » logique et causale ? Ce sont toujours, au fond, la *diversité* et le *changement :* et la raison ne trouve son repos que dans l'« identique ».

Voyons notre raison à l'œuvre dans la théorie scientifique. Aux prises avec le flux des phénomènes dans le temps, elle cherche à discerner, entre chaque antécédent et chaque conséquent, un élément qualitatif commun, choisi de telle sorte que le changement qualitatif se réduise à une variation purement quantitative de cet élément identique. Celui-ci, qualitativement, cesse alors de « devenir » : il « est ». Mais les éléments qualitatifs permanents, qui *sont* et ne *deviennent* plus, restent *divers* : c'est trop encore. La théorie scientifique, de même qu'elle éliminait le changement qualitatif, pour poser la *permanence* de l'identique, élimine cette fois la diversité immobile des qualités, pour y substituer l'*homogénéité* de l'identique. A vrai dire, la diversité qualitative demeure représentée par des coefficients quantitatifs : fiction pratiquement nécessaire, bien que logiquement inconsistante. L'*espace*, synthèse de l'homogène : telle apparaît donc la limite vers laquelle notre raison, dont la loi est l'identité, achemine l'explication scientifique : « le but vers lequel tendent explication et théories consiste réellement à remplacer ce monde infiniment divers qui nous entoure, par de l'identique dans le temps et dans l'espace, lequel, évidemment, ne peut être que l'espace lui-même » (I, p. 180).

Cette tendance de la théorie scientifique vers la forme spatiale pure avait été relevée plus d'une fois avant M. Meyerson, qui la souligne et la met bien en évidence.

Mais voici surgir une difficulté grave. On a démontré précédemment que la science, parce qu'inévitablement « explicative », est « essentiellement ontologique ». Or, l'idéal de l'explication scientifique, l'espace comme tel, pure forme vide, n'est-ce point la négation même de la réalité objective ? Sans doute : la science, achevée selon son idéal de totale

rationalité, se nierait elle-même. Il faut donc que cet idéal demeure irréalisable, c'est-à-dire que l'objet de la science ne soit point entièrement réductible au pur « rationnel » — à l'identique immobile des Eléates — mais contienne une part d'*irrationnel*. Et quels sont ces éléments irrationnels ? Qu'on ne se hâte pas de les définir, au risque d'arrêter prématurément l'effort unitaire de notre raison. Ainsi, selon M. Meyerson, Driesch a peut-être tort de poser dès maintenant un « irrationnel » spécifiquement biologique. Mais enfin, il y a des « irrationnels » : les plus généraux et les plus incontestables sont la *diversité statique*, qui persiste dans les Mathématiques mêmes, et le *devenir*, inséparable d'une science de la nature, d'une « physique ».

Puisque les sciences ont toutes pour objet la nature, fixons notre attention sur le point nodal, où se rencontrent forcément toutes les théories scientifiques : le « devenir ». Il recèle un *irrationnel*, disions-nous; mais, dans l'histoire de la pensée humaine, ne voyons-nous pas affichée — par des philosophes — la prétention de déduire rationnellement ce prétendu irrationnel ? Pour Schelling, par exemple, comme pour Hegel, le Devenir procède du Sujet pur, et même en procède par nécessité logique. Si leur raisonnement est valable, la science achevée se confondrait avec la philosophie transcendantaliste, et l'expérience n'aurait plus, dans notre savoir, qu'un rôle accidentel. M. Meyerson se voit donc amené à discuter la synthèse hégélienne du devenir, à l'effet d'en montrer l'illusion radicale. Sa critique dénonce, chez Hegel, deux erreurs primitives : l'une affecterait la valeur formelle du « procédé dialectique » (ici, nous croyons que M. Meyerson, après Trendelenburg et d'autres, se méprend sur le véritable sens de la synthèse hégélienne) ; l'autre, où tomba aussi Schelling, consisterait dans l'introduction subreptice de données irrationnelles (Nature par opposition à Esprit) au sein de l'apriorisme rationnel (qui ne peut être que position pure du Sujet, l'Idéalisme strict excluant toute « réalité en soi »).

On voit où nous sommes acculés, tant comme hommes de science que comme philosophes : à choisir entre des points de vue également antinomiques.

Suivons-nous les méthodes de la science théorique ? Alors, d'une part, supposant des « régularités » et des « lois »

qui débordent notre subjectivité présente, nous postulons bon gré mal gré, comme ultime « raison suffisante » de nos généralisations, une réalité ontologique s'opposant au moi. Mais d'autre part, en vertu de la même tendance rationnelle, nous ramenons inlassablement le divers à l'identique, posant ainsi, virtuellement, comme « explication » dernière des phénomènes, l'espace pur, qui ne peut subsister comme tel. Notre raison, dans la théorie scientifique, se fait échec à elle-même.

Comme philosophes, serons-nous plus heureux ? Le pur rationalisme (qui ne peut être qu'une identité de la pensée et du réel, puisqu'il prend à tâche la déduction de la totalité des objets à partir du sujet) postule d'emblée l'impossibilité d'une « réalité en soi » ; sauf paralogisme, il devrait s'enfermer dans l'identité du Moi pur, et laisser donc échapper le « divers » : ce qui revient à faire évanouir totalement la Nature.

Devant la théorie scientifique, aussi bien que devant la spéculation philosophique (et, faudrait-il ajouter, devant l'ontologie sommaire du « sens commun »), un même écueil se dresse : l'impossible conciliation de l'Un, imposé par la raison, et du Multiple, condition de la Nature. M. Meyerson appelle « paradoxe épistémologique » l'expression de cette attitude nécessaire et déroutante de notre raison en face de la Nature. Nous disons bien : de notre raison ; car, si la science, la philosophie, et même le sens commun posent des exigences antinomiques, la cause en est « une seule et même tendance fondamentale de l'esprit humain, la tendance qui veut le monde intelligible et qui ne peut se satisfaire qu'en le détruisant » (II, p. 199). « Partout (en effet), notre raison, sous les formes les plus diverses, ne peut appliquer qu'un seul et unique artifice, foncièrement le même, qui consiste à expliquer le divers en le réduisant à l'identique » (II, p. 353).

Que conclure ? Que notre raison, appliquée au réel, se révèle « antinomique »; que, par conséquent, le réel n'est point calqué sur elle ; que, d'autre part, la fécondité, si souvent éprouvée, des théories scientifiques témoigne que la Nature se prête, dans une large mesure, aux exigences de la raison ; que l'« explication scientifique » représente donc un compromis légitime entre deux conditions opposées : la construc-

tion rationnelle, qui, poussée à bout, détruirait la nature ; et la contrainte de l'irrationnel, qui, devenue exclusive, nierait la raison.

Une remarque seulement, pour terminer : M. Meyerson, en situant et en délimitant « l'explication scientifique », ne touche point encore le fond du problème de la « valeur de la science » : il se borne, en effet, à dégager les rapports de la science théorique avec une « raison » réglée tout entière sur l'identité (c'est-à-dire, ici, sur l'équivalence substitutive). Pour être fixé complètement sur la valeur de l'explication scientifique, il resterait à préciser, au sein d'un système philosophique plus compréhensif, la relation mutuelle du « rationnel » (défini comme plus haut) avec l'« intelligible » et avec l'« être ». Par le fait même apparaîtrait la fonction logique et ontologique qu'il convient d'attribuer aux deux sortes d' « irrationnels » qui envahissent notre intelligence : non seulement l'irrationnel empirique, ou le « donné », mais encore l'irrationnel « transcendant » ou le « métarationnel ». M. Meyerson, n'ayant pas cru devoir aborder ici ces problèmes plus strictement philosophiques, ne conduit point, dans ses deux volumes, jusqu'aux solutions *dernières :* ce qu'il ne nous avait d'ailleurs pas promis.

J. Maréchal, S. J.

Le système des Sciences. Le Vrai, l'Intelligible et le Réel, par Edmond Goblot, Correspondant de l'Institut, professeur à la Faculté des Lettres de Lyon. Un volume in-12 de 259 pages. — Paris, A. Colin, 1922. — Prix : 7 fr.

Les lecteurs du *Traité de Logique* de M. Goblot retrouveront son style ferme, sa manière précise mais un peu sommaire, et ses idées favorites, dans ce petit volume, qui groupe vingt leçons professées à Barcelone en 1921. Pour en apprécier l'intérêt, il faut remarquer que le « système des sciences » couvre, aux yeux de l'auteur, le domaine entier « du vrai, de l'intelligible et du réel » ; et ainsi le titre, rapproché du sous-titre, fait entrevoir dès l'abord le point de vue dominant de tout le livre : un empirisme délibérément rationaliste.

Au lieu d'examiner, au fil des chapitres, les différentes disciplines qu'on peut appeler « sciences » : arithmétique,

algèbre, géométrie, mécanique rationnelle, physique, physiologie, psychologie, sociologie, morale, sciences normatives, philosophie, marquons rapidement les idées directrices qui donnent à l'enquête critique de M. Goblot son tour particulier.

D'après lui, *sciences pures*, telles les mathématiques, et *sciences d'observation* ne diffèrent que « par leur inégal degré d'avancement » : toute science, absolument, commence par l'expérience et l'induction, comme aussi toute science, absolument, « tend à devenir rationnelle et déductive ». D'un bout à l'autre, la science n'est qu'une élaboration rationnelle de l'expérience, une application du procédé *déductif* au donné empirique.

Le mot « déduction » fait penser immédiatement au syllogisme aristotélicien. Qu'on se détrompe. Le syllogisme, qui descend « du général au spécial », ne nous mène guère au delà de ce que nous savions déjà. La déduction est beaucoup plus féconde ; en mathématiques, par exemple, science déductive par excellence, le raisonnement procède, non du général au spécial, mais « soit du spécial au général, soit de l'hétérogène à l'hétérogène » (p. 48). Bref, la déduction se montre progressive et extensive ; sa vraie nature, M. Goblot confesse en avoir eu la révélation « en février 1906 » : « Déduire, c'est construire » (p. 50). D'autres s'en étaient bien un peu doutés avant cette date mémorable.

Or on ne construit qu'avec des matériaux plus simples que l'édifice même. Et, dans un édifice rationnel, le « plus simple » ne peut être que le « plus général ». Puisque toute science part de l'expérience, les moellons à utiliser pour la déduction seront donc ces « lois » de plus en plus universelles que nous abstrayons de la diversité infinie des phénomènes, et au moyen desquelles nous édifions des hypothèses, rationnellement construites, permettant de représenter les faits en termes « intelligibles ». (N. B. Cette abstraction généralisatrice n'est au fond qu'une substitution progressive de l'identité à la diversité, au sens où l'entend M. Meyerson. Voir le compte rendu précédent.)

Si nous appelons « réel » ce que la nature nous offre immédiatement dans les phènomènes, et « vrai » ce qui est conforme aux exigences de la raison, il faut dire que « l'intel-

ligence progresse dans la vérité en s'éloignant du réel ». D'autre part, la spéculation, qui nous fait « quitter le réel pour atteindre le vrai » (p. 95), rend possible la prévision et, par là même, l'élargissement indéfini de l'action, qui, elle, nous replonge dans le réel : « C'est par l'action et non par la pensée qu'on revient au réel » (p. 89).

M. Goblot doit-il être rangé parmi les pragmatistes ? Nous ne le croyons pas ; car, si nous comprenons bien sa pensée, la science, c'est-à-dire la « rationalisation » du phénomène, arrivée à sa perfection, exprimerait adéquatement la nature : à la limite, le « vrai » rejoindrait le « réel », devenu totalement lumineux à l'intelligence. M. Goblot postule donc que la nature, en son fond, soit « rationnelle », encore que nos « rationalisations » partielles ne puissent fournir un décalque exact de la « rationalité » profonde des choses. Pour lui, comme pour M. Meyerson, la science humaine est, en fait, un compromis de raison et de nature ; mais M. Goblot n'admettrait pas des « irrationnels » définitifs.

Aussi, dans la conception générale de cet auteur,les sciences et la philosophie se confondent ; la finalité prend un sens étroitement défini, qui la réduit aux étapes enchaînées de la causalité ; le « libre arbitre » devient une fiction, qui masque la « liberté » véritable, laquelle « suppose le déterminisme » (p. 236) ; « l'intelligence est le dernier et le plus haut degré de l'évolution » biologique ; enfin, la métaphysique, réfractaire au cadre des sciences tracé par M. Goblot, est déclarée inexistante de *droit :* « ce n'est pas assez de dire que les problèmes métaphysiques sont insolubles : ils ne peuvent même pas être posés ; ce ne sont même pas des problèmes, ce sont des *pseudo-problèmes* » (p. 218).

Ces conclusions, qui appellent bien des réserves, découlent de l'erreur initiale d'un rationalisme qui confond l'intelligence avec l'entendement discursif, l'« intelligible » avec le « rationnel » ; elles trahissent aussi quelques malentendus sur la signification des métaphysiques anciennes.

Chose curieuse, l'auteur ne croit pas que ses opinions puissent heurter les convictions de lecteurs catholiques. De très bonne foi, nous n'en doutons pas, il leur ouvre une échappatoire : « Il va sans dire que cette critique de l'ontologie rationaliste (N. B. Il s'agit, en réalité, d'une ontologie du

type leibnizien-wolffien) ne vaut pas contre cette grande espérance de justice définitive, contre cette immense bonté tombant du firmament, qu'enseignent, sans métaphysique aucune, les religions révélées. Mais il nous est devenu décidément impossible de faire une place à la métaphysique dans le système des connaissances humaines » (p. 225). Aucun catholique ne reprochera à M. Goblot d'exprimer loyalement ses idées, qui sont toujours dignes de considération. Mais aucun catholique, non plus, ne pourrait les accepter intégralement sans ébranler les fondements rationnels nécessaires de sa foi religieuse. Il serait regrettable qu'une équivoque subsistât à cet égard.

J. Maréchal, S. J.

XV. — L'origine et l'évolution de la vie, par H. F. Osborn. Édition française, avec préface et notes, par Félix Sartiaux. Un vol. in-8°, de xxxv-304 pages avec 126 illustrations et figures. — Paris, Masson, 1921. — Prix : 25 fr.

On ne contestera certes pas à ce livre le privilège d'être admirablement édité. Qualité du papier, clarté impeccable de l'impression, soin des illustrations, correction du texte : toute l'exécution matérielle y fait honneur à la librairie Masson. A d'autres égards encore, grâce à M. F. Sartiaux, cette édition française est d'une tenue parfaite : la traduction, fidèle et bien lisible, s'accompagne de références bibliographiques exactement formulées, sans rien de ces menues négligences qui déparent trop souvent des œuvres de ce genre.

Et le fond même du livre ? On sait que M. Osborn, directeur du grand Muséum d'histoire naturelle de New-York, compte parmi les maîtres de la paléontologie aux États-Unis. En ce qui concerne les reptiles et les mammifères fossiles, son œuvre spéciale est de première valeur. Mais son esprit, très large, s'intéresse aussi aux problèmes théoriques de la vie et de l'évolution. Le travail que nous analysons, paru en Amérique en 1917, en est une preuve nouvelle.

Deux problèmes fondamentaux y sont examinés : 1° « L'adaptation (vitale) de l'*énergie* », c'est-à-dire l'origine physico-chimique et l'organisation énergétique de la vie (l'évolution du monde végétal étant traitée — assez sommai-

rement — à ce propos) ; 2° « L'évolution de la *forme* animale », chez les invertébrés et surtout chez les vertébrés.

Les deux parties du volume qui correspondent à ces deux problèmes, sont d'inégale valeur. La première a plus de portée théorique immédiate ; mais il est manifeste, pour qui connaît d'un peu près ces questions épineuses de biologie générale, que M. Osborn, malgré son information étendue et exacte, ne s'y trouve pas sur son vrai terrain : trop d'aspects des problèmes échappent à son intéressant exposé. Par contre, la seconde partie, beaucoup plus originale, est avant tout une esquisse magistrale de l'enchaînement des formes fossiles : bien qu'elle serve l'hypothèse de l'évolution, sa valeur directe réside dans la description historique plutôt que dans la signification théorique générale ; car, malgré le désir de l'auteur, le point de vue de l'énergétisme biologique, défendu dans la première partie, n'est guère susceptible encore d'application détaillée à la morphogénèse animale.

Il faudrait de longs développements pour justifier notre appréciation et formuler les réserves précises que nous croirions devoir apporter, çà et là, aux opinions émises par l'éminent naturaliste. M. Sartiaux, dans les notes critiques dont il accompagne parfois sa traduction, propose de son côté quelques objections, au nom du néo-lamarckisme français. Une partie de ses remarques nous paraît juste ; d'autres, moins. Ces divergences montrent assez à quel point les questions relatives à la nature et au développement de la vie demeurent pleines d'obscurités. Ceux-là méritent audience sympathique, qui cherchent loyalement, sans esprit de polémique, à poser plus nettement ou plus intégralement les problèmes ; et M. Osborn est du nombre.

Son attitude d'ensemble peut se résumer en deux mots : sur la base d'un énergétisme qui rappelle celui de Ostwald, il professe un évolutionnisme intégral, qui s'étend depuis les éléments physico-chimiques jusqu'à l'homme inclusivement (du moins jusqu'au corps humain, car l'auteur, qui ne fait pas, dans ce volume, une étude des origines de l'homme, ne se prononce pas sur la nature des facultés supérieures de celui-ci). Mais tout en prenant ainsi position, pour des raisons surtout méthodologiques, il ne méconnaît pas les limites actuelles de nos connaissances certaines. La phrase suivante

nous paraît refléter fidèlement sa manière : « En affirmant que toutes nos expériences convergent vers une explication physico-chimique de la vie plutôt que vers les hypothèses vitalistes, il n'en reste pas moins que nous sommes loin de prétendre qu'aucune des explications physico-chimiques de la science actuelle soit définitive et satisfasse complètement notre raison » (p. 5).

J. Maréchal, S. J.

Les tropismes dans le comportement animal. Historique et critique de la question, par Maurice Manquat, docteur ès sciences naturelles. Un vol. in-8° de XVII-233 pages, 38 figures. — Nancy, Vagner, 1921.

La théorie des Tropismes appartient aux quatre ou cinq grandes questions de biologie générale autour desquelles, aujourd'hui, partisans et adversaires du mécanisme se comptent, ou croient se compter. Étendue à l'ensemble des organismes, elle dissimule sous une apparente simplicité de termes, pas mal d'équivoques et d'obscurités ; sans compter qu'elle prête flanc, avec une complaisance vraiment excessive, au danger d'explications purement verbales.

Dans le travail important que nous présente M. Manquat, on appréciera sans doute particulièrement l'exposé critique très consciencieux qu'il fait des recherches de ses devanciers. La plupart de ceux-ci se trouvent être personnages fort en vue dans le monde des biologistes : d'abord, évidemment, Jacques Loeb, le vrai fondateur et le protagoniste intransigeant de la théorie des Tropismes, savant de haute valeur, observateur précis, hardi chercheur, mais généralisateur téméraire ; puis, des partisans indépendants ou des adversaires de Loeb : G. Bohn, Davenport, Jennings, Pictet, Claparède, etc. ; puis encore, une nuée d'expérimentateurs — quelques-uns de marque — dont les travaux sont clairement résumés. Cette revue assez complète de la littérature, déjà encombrée, d'un sujet relativement neuf, rendra d'excellents services. Elle occupe la majeure partie du volume : 151 pages sur 232.

Dans les 90 dernières pages, M. Manquat fait part de ses observations personnelles, et discute pour son compte la théorie des Tropismes. Les expériences qu'il décrit valent

surtout comme essais de contrôle, ce qui était, d'ailleurs, son but principal. Elles nous paraissent, comme les expériences antérieures de Pictet, établir au moins ceci : que la conception radicale, ou « loebienne », des Tropismes manque de base expérimentale positive, et même s'accorde plutôt mal avec les faits. Toutefois, contre Jennings, dont la théorie, quoique mécaniste, tient compte largement des facteurs internes, la démonstration de M. Manquat ne nous paraît pas péremptoire, encore que nous en admettions personnellement les conclusions.

Nous ajouterons que l'argumentation de l'auteur, pleine de judicieuses remarques, laisse indécis un point qui ne manque pas d'importance : admettons, en effet, la distinction entre le pur « déterminisme physico-chimique » et le « déterminisme biologique » ; admettons aussi que ce dernier régit les options entre réactions diverses selon la « loi de l'intérêt », ou du mieux-être, de l'*individu* vivant ; mais l'intermédiaire de ces options est-il nécessairement un sentiment de « plaisir » ou de « peine » ? Ne conçoit-on pas une « finalité interne » ou une « loi d'intérêt » en dessous du seuil de la psychologie ? Toute vie, même végétale, n'emporte-t-elle pas des options pratiques ? Plusieurs tropismes végétaux (dont l'auteur ne s'occupe pas expressément) s'expliquent par un enchaînement de causalités purement mécaniques ; mais il y a, dans la vie de la plante, d'autres activités qui semblent trahir un choix entre des possibilités physico-chimiques ; comment expliquer ces options inconscientes ? à la façon de Jennings ou autrement ? et ne se rencontre-t-il point d'options pareilles dans les réactions motrices des animaux ? Pour saisir à fond la pensée de l'auteur, nous devrions donc savoir son opinion, non seulement sur le « comportement animal », mais sur la nature même de la vie végétative. Qu'il nous pardonne de l'entraîner en dehors du sanctuaire des tropismes, mais il en a lui-même ouvert les portes en posant le problème général du vitalisme.

J. Maréchal, S. J.

XVI. — A history of the Association psychology, by H. C. Warren, professor of Psychology at the University

of Princeton. — London, Constable, 1921 .Un vol. in-8º de IX-328 pages.

M. Warren a été bien inspiré en reprenant, et menant à terme, la composition, un moment interrompue, nous dit-il, de ce livre. L'histoire des doctrines associationnistes qu'il offre au public rendra d'excellents services par sa clarté, sa précision et sa brièveté relative.

L'associationnisme, malgré ses accointances historiques avec l'épistémologie empiriste, peut être considéré aussi d'un point de vue simplement psychologique. L'auteur, adoptant expressément ce point de vue restreint, fait abstraction de tous présupposés et contre-coups métaphysiques quelconques. Après avoir délimité son sujet et énuméré ses sources littéraires, il distribue comme suit son étude historique.

Une première période, courant de Platon et d'Aristote jusqu'à Hume inclusivement, est encore toute dominée — remarque-t-il — par des préoccupations épistémologiques : la psychologie de l'association s'y ébauche, sans toutefois prendre un développement autonome. M. Warren traite cette phase préparatoire avec conscience et exactitude, mais un peu sommairement. Il nous semble que Hume, bien que principalement philosophe, aurait mérité une étude plus fouillée, tant pour le rôle central qu'il confère à l'« association des idées » que pour le pressentiment qu'il eut des difficultés théoriques de ce rôle trop exclusif.

Avec David Hartley, nous entrons dans la vraie période constructive de la psychologie associationniste. M. Warren retrace séparément le développement de cette psychologie en Angleterre, où elle fut prépondérante, et sur le continent. Dans la lignée britannique, au nom de Hartley et de quelques autres écrivains du XVIIIe siècle, il joint, avec raison, celui de Thomas Brown, inféodé à l'école écossaise : un associationniste intéressant, que Th. Ribot négligea de mentionner dans sa *Psychologie anglaise contemporaine.*

Une troisième période, illustrée par James Mill, John Stuart Mill et Alexandre Bain, marque l'achèvement de l'édifice associationniste : aucun domaine de la connaissance et de l'action n'échappe plus à cette théorie.

Le succès des idées évolutionnistes ouvre une quatrième période, « qu'on peut dater de 1855, année où parurent les

Principles of Psychology d'Herbert Spencer ». La fonction associative, considérée seulement, jusque là, au sein des individus, s'élargit en devenant un facteur d'acquisitions héréditaires. M. Warren expose, à ce sujet, l'essentiel des vues de Spencer et de Lewes ; puis il résume et apprécie, en historien, l'associationnisme anglais dans son ensemble.

L'étude du mouvement parallèle, qui se développa sur le continent, est condensée en un chapitre : course rapide à travers les principaux noms des Sensualistes, des Idéologues et des Positivistes français, puis de quelques Italiens et Allemands.

On pourrait croire que l'histoire de la psychologie associationniste se termine là. M. Warren y rattache encore pourtant, comme autant d'enrichissements nouveaux, la multitude des travaux de psychologie expérimentale, d'inspiration théorique très diverse, entrepris, depuis une bonne quarantaine d'années, sur tous les aspects possibles des associations mentales. Les plus intéressantes de ces recherches nous sont présentées brièvement.

Enfin, l'auteur, en deux chapitres très clairs, résume les grandes lignes d'une psychologie associationniste telle qu'elle résulte des données historiques exposées par lui. Et il nous confie quelque chose de ses vues personnelles. « Il croit la psychologie associationniste, dans ses parties essentielles, parfaitement défendable au regard d'un système intuitionniste ou nativiste quelconque » (p. 291). Évidemment, les progrès de la physiologie et de la psycho-physiologie exigent des retouches aux formules classiques ; et puis, l'*association* — étiquette commode, qui couvre au moins trois processus distincts — ne représente peut-être pas tous les modes d'activité régissant les données mentales. Malgré ces réserves, que, pour notre part, nous accentuerions beaucoup, M. Warren estime que « l'associationnisme, dans ses limites naturelles, apporte une interprétation cohérente de la vie de l'esprit » (ibid.).

J. Maréchal, S. J.

Introduction a la Psychologie. L'Instinct et l'Émotion, par J. Larguier des Bancels, professeur à l'Université de Lausanne. Un vol. in-8° de 286 pages. — Paris, Payot, 1921. Prix : 15 francs.

Ce livre, clairement écrit, répond-il complètement à son titre : « Introduction à la Psychologie » ? D'aucuns trouveront qu'une Introduction proprement dite comporterait l'examen de certaines questions préalables, que l'auteur n'aborde pas. D'autres estimeront, au contraire, que l'auteur de cette Introduction annexe au portique de la Psychologie des parties entières de l'édifice.

A vrai dire, tout le monde a raison, sans excepter l'auteur lui-même. La préoccupation qui semble l'avoir guidé répond vraiment à une exigence liminaire de la psychologie : c'est de formuler et d'orienter dans des voies praticables un problème qui demeure, quoi qu'on fasse, sous-jacent à toute étude objective de l'homme, nous voulons dire le problème des rapports entre les fonctions somatiques et les activités conscientes. Les positions extrêmes, où, soit le corps, soit l'esprit, sont trop sacrifiés, font de la psychologie une intenable gageure. Avant d'aborder l'analyse détaillée des phénomènes conscients, il importe, sinon de résoudre positivement le problème de l'union du corps et de l'âme, du moins d'écarter les solutions unilatérales qui fausseraient toutes les perspectives ultérieures.

C'est dans cet esprit que M. Larguier des Bancels entend préparer le terrain à une « psychologie ». Étant donné son but, on comprend sans peine l'ordre de ses chapitres.

Après quelques indications sur l'objet et les méthodes de la psychologie (I), il nous parle de l'âme et du corps (II), puis, plus spécialement, de la conscience et du système nerveux (III), ce qui lui permet d'apprécier le « principe du parallélisme » et de comparer entre elles les principales théories de la mémoire. Le chapitre suivant (IV), « la moelle et le cerveau », est un sommaire d'anatomie et de physiologie comparées, d'où résultent quelques conclusions sobres sur les conditions somatiques du psychisme. Les trois derniers chapitres appellent l'attention sur la nature et les affinités de trois ordres de phénomènes qui s'enchevêtrent à toute notre vie psychologique. D'abord l'activité réflexe, médullaire et cérébrale (V), que M. Larguier des Bancels conçoit — avec plus de largeur et de justesse que ne font beaucoup de physiologistes — comme une réaction déjà complexe et harmonique de l'individu vivant. Puis l'instinct (VI), qui se

laisse ramener, sans trop de peine, au type élargi du réflexe. Enfin l'émotion (VII), que l'auteur, en la définissant « un raté de l'instinct », rattache aux conditions biologiques générales d'où dépendent les réflexes.

M. Larguier des Bancels n'entre point sur le terrain de la Métaphysique. Son point de vue reste fidèlement celui de la psychologie empirique, plutôt « fonctionnelle » que « structurale ». Ses opinions, qu'on peut ne point toujours admettre, sont modérées, de « juste milieu ».

J. Maréchal, S. J.

XVII. — Pubblicazioni dello Istituto di studii Vinciani in Roma, diretto da Mario Cermenati :

Vol. I : La critica e l'arte di Leonardo da Vinci, par Lionello Venturi. Un vol. in-8° de 206 pages, 22 planches. — Bologna, Nicola Zanichelli (1919). — Prix : 18 lires.

Vol. II : Leonardo da Vinci pittore, par Adolfo Venturi. Un vol. in-8° de 196 pages et 129 figures. — Bologna, Nicola Zanichelli (1920). — Prix : 35 lires.

Vol. III : Leonardo da Vinci e la Geologia, par Giuseppe di Lorenzo. Un vol. in-8° de 195 pages (1921). Même éditeur. — Prix : 15 lires.

La belle et presque luxueuse série de publications entreprise sous les auspices de l'*Istituto di Studii Vinciani*, s'ouvre par deux volumes dus à deux maîtres de la critique et de l'histoire de l'art en Italie : MM. Lionello et Adolfo Venturi. Premières strophes d'un hymne triomphal à la gloire d'un des génies les plus puissants, et peut-être du génie le plus complet, de la Renaissance.

Qui ne connaît, sous quelque aspect, Léonard de Vinci ? Mais d'autre part, combien il est difficile d'envelopper d'un seul regard cette physionomie fascinante, multiple et une à la fois ! Et la difficulté ne naît pas seulement de la variété déconcertante des activités extérieures de Vinci : peintre, sculpteur, architecte, humaniste, écrivain, philosophe, théoricien de la science, naturaliste, physiologue, cartographe, géologue, ingénieur ; la difficulté provient surtout de l'alliance à doses égales, si rare en un seul homme, de la

sensibilité artistique, de l'instinct expérimental et de la haute raison philosophique. Pour goûter pleinement l'artiste, toujours un peu énigmatique, il faut comprendre le philosophe, et celui-ci ne se déchiffre bien qu'à travers le naturaliste. Réciproquement, le savant, ami de la Nature, a, chez Léonard, une tout autre trempe que nos spécialistes du type positiviste ; la science léonardesque est compénétrée d'un rationalisme absolu, dont la sérénité hautaine bride et gouverne la sensibilité artistique elle-même. En combinant ces trois éléments, pouvons-nous nous flatter de reconstituer complètement l'homme — ou le surhomme — que fut Vinci ? Je ne le pense pas. L'homme, tel que nous le font entrevoir quelques lettres et fragments, rapprochés, si l'on veut, du magnifique portrait à la sanguine de la Bibliothèque royale de Turin, ne s'explique pas par le seul conflit de la science, de la raison et de l'art : avec son humilité bienveillante vis-à-vis de la Nature et son indépendance orgueilleuse des traditions communes ; avec son absence totale d'ascétisme religieux, mais en même temps avec ce pli de pessimisme au coin des lèvres ; avec, dans les yeux, cet arrière-fond inquiet qui dément la dure impassibilité des traits ravinés, l'homme est plus complexe encore.

A le faire connaître, sous tous les aspects sous lesquels il nous est accessible, en lui-même et dans son œuvre, est consacrée la série de Monographies dont nous signalons ici les premiers volumes.

1. M. Lionello Venturi, bien connu par son « Giorgione », et par d'autres travaux, étudie « la critique (artistique) et l'art chez Vinci ». D'abord, nous disons bien : la « critique » chez Vinci ; car les principes de l'art du peintre ont été formulés par Léonard lui-même, dans le fameux *Trattato della pittura*, précieuse compilation due à un disciple. En cinq chapitres d'un intérêt captivant, M. L. Venturi nous initie à la pensée réfléchie du grand artiste, qui juge, et réduit en termes de raison, ce que sa spontanéité créatrice exprimait d'autre part « imaginativement » dans ses tableaux.

La seconde partie de ce premier volume est consacrée plus directement à l'« art » même de Léonard de Vinci. L'auteur commence par rappeler, confronter entre elles et discuter les appréciations, souvent diverses, que suscita la manière

de Léonard, depuis les contemporains de celui-ci jusqu'aux « critiques » les plus récents, tels G. Morelli, Müntz, Wölflin, Berenson, Wolynski, Farinelli, Sirén, etc. Puis, dans un chapitre final, il retrace de main de maître les caractères dominants, techniques et psychologiques, de l'art léonardesque, en en marquant l'évolution vers une intellectualité de plus en plus intérieure. Vingt-deux planches phototypiques insérées dans le volume, appuient heureusement l'exposé.

2. Dans le second volume de la série : *Leonardo da Vinci pittore*, M. Adolfo Venturi, l'auteur de la monumentale *Storia dell' arte italiana*, déroule en historien précis, doublé d'un fin appréciateur, toute l'œuvre picturale de Vinci. La chronologie et les particularités purement historiques font l'objet de notices groupées dans la première partie du livre. La seconde partie est une étude comparée, à la fois historique et esthétique, des tableaux qui nous sont restés. Malgré les objections élevées par quelques critiques (voir M. Reymond. *Verrochio*), M. A. Venturi tient pour l'authenticité léonardesque de l'ange aux boucles blondes dans le *Baptême du Christ* de Verrochio, ainsi que du tableau entier de l'*Annonciation* (Uffizi). Cette dernière œuvre surtout, bien qu'elle rappelle l'atelier de Verrochio, porte la trace indubitable de l'inspiration et de la main du futur peintre de la *Vierge aux rochers ;* sans compter que plusieurs « études » des draperies mêmes, portées par la Vierge et l'Ange du tableau, se retrouvent parmi les dessins de Léonard, à Paris, à Oxford, à Windsor et à Rome. Pour l'analyse des tableaux les plus caractéristiques, M. A. Venturi utilise largement les esquisses et dessins préparatoires, dont il reproduit un bon nombre en de très belles planches.

La troisième partie comprend la liste chronologique raisonnée des peintures conservées ou perdues de Léonard.

Les deux Monographies de MM. Venturi se complètent : l'une plus spécialement psychologique, l'autre plus spécialement érudite, elles forment un ensemble magistral, que l'on peut recommander sans réserves.

3. Le troisième volume, *Léonard de Vinci et la géologie*, porte la signature de M. G. de Lorenzo. Largement conçu, et très littéraire de forme, il est — c'est vraiment dommage — gâté par une obsédante préoccupation polémique, où perce une passion antichrétienne qui passe la mesure.

L'*Introduzione*, assez longue et curieuse, campe devant le lecteur un portrait intellectuel et moral — peut-être pas rigoureusement objectif, mais habilement brossé — de l'homme étonnant, dont le moindre titre de gloire est d'avoir été un précurseur de la géologie moderne. Ce que M. de Lorenzo tient à souligner avant tout, et reprend constamment, comme un leit-motiv, c'est le *naturalisme rationaliste* qui fait le fond même de l'esprit léonardesque. En ceci, Léonard est bien le « surhomme » de la Renaissance : nous en tombons d'accord avec l'auteur, et nous reconnaissons avec lui une affinité spirituelle entre le grand artiste et Giordano Bruno, qui le suit de quelques années. Mais faut-il serrer le parallèle autant que le fait M. de Lorenzo ? Léonard a des formules qui semblent un écho du monisme stoïcien ; il professe le déterminisme absolu des lois physiques, répugne au miracle (dans quelle mesure exactement et en quel sens ?), incline à l'« athéisme », c'est-à-dire ne conçoit Dieu que comme le moteur immanent et impersonnel de la Nature (d'autres écrivains contestent l'athéisme de Léonard) ; soit ; encore ne doit-on point oublier que ces hommes de la Renaissance furent souvent payens de langue, de mœurs, disons même : de cerveau, plutôt que de cœur. (Nous entendons ici le « cœur » au sens de Pascal.) Chez Léonard, nous croyons d'ailleurs que le cœur aussi était atteint, bien qu'en une moindre mesure que ne le voudrait M. de Lorenzo.

A celui-ci nous ne reprochons donc point son opinion sur le naturalisme et la religion de Léonard de Vinci : c'est là un point d'histoire, discutable en toute sérénité. Nous lui reprochons de mêler à une étude qui devrait être objective, trop de déclamations « sur l'absurdité de la Genèse mosaïque » et sur « l'obscurantisme religieux ». Tout le livre en devient déplaisamment tendancieux. La vraie thèse de l'auteur est énoncée franchement dès la page 7 : « C'est précisément cette conception si hérétique (de la Nature : allusion à un mot de Vasari sur Léonard) qui, en éloignant Léonard de Vinci de toute religion, le rapproche, nous le verrons plus loin, d'autres penseurs athées, comme Schopenhauer, ou comme les anciens théosophes de l'Inde, et lui permit, parce qu'affranchi de tout dogme et en parfaite liberté intellectuelle, d'être, parmi les modernes, le premier interprète génial de

l'histoire de la terre et le précurseur solitaire, alors incompris, de notre géologie actuelle. Cette liberté d'esprit complètement areligieuse, nécessaire pour considérer le devenir de la terre sans les œillères théistes des histoires divines de la création, est un caractère dominant de la pensée italienne, etc. ».

Nous ne pouvons nous attarder à relever par le détail l'étrange idée que M. de Lorenzo se fait, soit du dogme proprement dit, soit des spéculations théologiques, soit de la signification des Livres Saints : renvoyons-le aux exégètes catholiques anciens et modernes, et aussi, puisqu'il s'agit de science, aux géologues catholiques : il en fut, et il en est d'illustres.

Heureusement, à côté du pamphlet, on trouve, dans le livre de M. de Lorenzo, beaucoup de remarques ingénieuses et d'exposés intéressants, qu'il s'agisse de la « géologie avant Léonard » (1re partie) — ou de « la géologie après Léonard » (2e partie) — ou surtout de « la géologie de Léonard ». Cet homme prodigieux, en effet — n'étant pas entravé par le « dogme » de l'immutabilité de la terre et de l'universalité du déluge (évidemment !) — put, avec une libre lucidité, tirer les conclusions générales de son observation sagace des phénomènes naturels.

Il édifia toute une théorie de l'évolution de la terre, ou plutôt de la surface de la terre, dans laquelle l'action de l'eau, l'érosion et la sédimentation jouent le grand rôle. Il pressent même, comme effet des transports de matière, des déplacements du centre de gravité du globe, corrigés par des remaniements compensateurs : quelque chose comme une anticipation de la « théorie de l'isostasie ». Et, en fin de compte, il annonce la mort de notre planète par nivellement et asséchement. Tout ceci, dans son détail circonstancié, transcrit des manuscrits de Vinci, est digne de remarque et tout à fait intéressant.

Parmi les Monographies en préparation, dont la publication est annoncée dès maintenant par l'*Istituto Vinciano*, mentionnons : A. Favaro. *Il metodo sperimentale nelle opere di Leonardo da Vinci.* — G. Favaro. *L. da Vinci e la meccanica del corpo umano.* — Malaguzzi Valeri. *L. da Vinci e la scultura.* — G. Gentile. *La filosofia di L. da Vinci*, etc. La

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES en rendra compte en temps utile.

J. MARÉCHAL, S. J.

LES PENSEURS DE L'ISLAM, par le Baron CARRA DE VAUX. Paris, Geuthner, 1921. Tome I : LES SOUVERAINS, L'HISTOIRE ET LA PHILOSOPHIE POLITIQUE. Un volume in-12 de 383 pp. Tome II : LES GÉOGRAPHES, LES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET NATURELLES. Un volume in-12 de 400 pages.

Le Baron Carra de Vaux, professeur honoraire à l'Institut catholique de Paris, est un orientaliste trop connu pour avoir besoin de recommandation auprès de nos lecteurs. Voulant contribuer, pour sa part, à faire mieux connaître l'Orient musulman, qui suscite aujourd'hui un si vif intérêt, il inaugure la publication d'une série de volumes, qui doivent « mettre en relief les figures principales » et « faire connaître les œuvres maîtresses » de l'Islam. « Ce ne sont pas seulement, écrit-il, des noms ou des titres de livres, que nous présentons au lecteur ; c'est quelque chose de vivant, des personnes, des types, des pensées, des caractères » (T. I. Préface, p. VI).

L'ouvrage entier, outre les deux volumes mentionnés plus haut, en comprendra trois autres, ayant respectivement pour objet : *L'exégèse et la jurisprudence. — La philosophie, la théologie et la mystique. — Les sectes et le libéralisme moderne.*

Des livres comme ceux-ci ne se résument pas. Autant vaudrait ramener une galerie de portraits à deux ou trois types généraux et insignifiants. Tout l'intérêt réside ici dans la ligne propre de chaque silhouette, dans le piquant de telle aventure concrète, dans la saveur de tel trait de mœurs, dans le miroitement de telle pensée subtile, dans le déroulement subit de tel horizon. Ces éléments d'intérêt se succèdent et s'enchevêtrent, au hasard des rencontres. Le mieux que nous puissions faire, après hommage rendu à l'habileté littéraire de l'érudit qui nous découvre ses trésors, sera encore de transcrire les étiquettes générales sous lesquelles il les classe.

Le *Tome I* s'ouvre par un défilé de « Souverains », depuis les premiers Abbassides jusqu'au potentat persan Shah Nadir (XVIIIe siècle). Puis, à leur tour, échelonnés sur quatre cha-

pitres, les « Historiens » sont à l'honneur : « Historiens arabes », « Historiens persans et historiens des Mongols », « Historiens turcs », y compris les modernes. Pour finir, un chapitre grave de « Philosophie politique », suivi d'un chapitre curieux, qui traite « des proverbes et des contes ».

Dans le *Tome II*, le procédé de composition reste le même. Sous le titre « Les géographes », nous avons le plaisir de rencontrer, non seulement les érudits de la géographie et de la cosmographie, mais aussi « les Marins », les théoriciens de l'Art nautique, et les « Grands Voyageurs ». Les adeptes des « Sciences exactes » : « Arithmétique et Algèbre », « Géométrie », « Mécanique », « Astronomie », occupent quatre chapitres intéressants : le tout, richement anecdotique, et sans guère d'autres chiffres que des dates. Et les Sciences naturelles ferment le volume, distribuées en trois chapitres : « Médecine », « Histoire naturelle », « Minéralogie et Alchimie ».

M. Carra de Vaux a adopté, pour écrire ce vaste ouvrage, une technique qui rappelle la touche divisée des peintres impressionnistes : lorsqu'on dépose le volume et qu'on prend du recul, l'esprit, un peu fatigué, d'abord, par le papillotement du détail vu de trop près, obtient une vision d'ensemble, très vivante, de la pensée et des institutions de l'Islam.

J. Maréchal, S. J.

The Sadhu. A study in mysticism and practical religion, by B. H. Streeter, M. A., D. D., fellow of Queen's College Oxford, etc. and A. J. Appasamy, B. A., M. A. (Harvard), B. D. — Un vol. in-8° de xv-264 pages. London, — Macmillan, 1921.

Sadhu Sundar Singh — le « Sadhu », comme l'appellent, par antonomase, les populations hindoues bénéficiaires de son apostolat — appartient à la race des Sikhs. Il naquit en 1889, dans le Nord de l'Inde, de parents riches, dont la religion semble avoir été fortement pénétrée d'hindouisme. Sous l'influence de sa pieuse mère, il s'adonna très tôt à la recherche de Dieu dans la « paix intérieure ». Non seulement il lut les livres sacrés de l'Inde, mais il pratiqua, avec application, le Yoga. Tout cela, d'ailleurs, sans trouver la paix qu'il espérait. Il prit bien aussi quelque connaissance de la

Bible, mais il la tenait pour destructrice des traditions de l'Inde, et professait une vive hostilité envers le christianisme.

Un matin de décembre 1904, désespéré de l'inanité apparente de ses efforts pour trouver Dieu, il allait se résoudre au suicide, lorsque brusquement il se vit enveloppé d'une lumière éclatante, au milieu de laquelle lui apparut le Seigneur Jésus, qui le conquit définitivement à son service. Avec une entière loyauté, Sundar, aussitôt, se déclara chrétien, se fit instruire dans l'Église anglicane, puis, en 1904, reçut le baptême.

Rejeté par ses proches, il commence, dès lors, à mener une existence héroïque de mystique et de prêcheur. Pour annoncer plus efficacement le Christ, il adopte la robe safran et l'austère genre de vie d'un Sadhu, c'est-à-dire d'un « Saint » ou d'un « Ascète » de profession. Son histoire est un tissu étonnant de recueillement et d'action, de prière souvent extatique et de prédications itinérantes, poursuivies au prix d'incroyables fatigues, souvent même au milieu des persécutions et des périls de mort. Il parcourut ainsi tout le nord de l'Inde, poussant des pointes en Béloutchistan et en Afghanistan, et pénétrant chaque année, à la saison favorable, jusque dans le peu accessible Thibet. Petit à petit, la notoriété vint au mystique missionnaire : à partir de 1918 surtout, ses expéditions dans le sud de l'Inde, à Ceylan et en Extrême-Orient, étendirent rapidement sa réputation. Elle était devenue « mondiale » — « a world fame » — lorsque; en 1920, il fit un court séjour en Angleterre. Il y fut mis en rapport avec des « scholars » distingués, tels les deux auteurs de ce livre, ou encore le Baron de Hugel, dont on connaît la compétence dans les questions de mystique.

Le présent volume, écrit avec foi (du point de vue anglican), et aussi avec discrétion et avec sens critique, a pour but de fixer quelque chose de l'impression religieuse subtile et profonde, produite par le converti hindou sur ceux qui l'approchèrent. Sa personnalité — qui rappelle, dit-on, celle de S. François d'Assise — est sommairement esquissée ; on s'attache surtout à mettre en lumière ses enseignements authentiques et ses expériences religieuses, qui se résument en une Mystique centrée sur le Christ.

Faut-il souligner l'intérêt que présente, au point de vue

de la psychologie religieuse, un cas comme celui-ci ? Il soulève d'ailleurs des problèmes qui dépassent de beaucoup le domaine restreint de la psychologie : problèmes relatifs à la répartition de la grâce surnaturelle et aux méthodes d'évangélisation. Sur ces questions délicates et passionnantes, qui sortent du cadre de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, nous sommes heureux de pouvoir renvoyer à un article récent d'un des théologiens catholiques dont la largeur de vues et la sûreté doctrinale sont le plus universellement reconnues : « Le Sadhu Sundar Singh et le problème de la sainteté hors de l'Église catholique », par le R. P. Léonce de Grandmaison. RECHERCHES DE SCIENCE RELIGIEUSE. Paris, janvier 1922, pages 1-29.

J. MARÉCHAL, S. J.

XVIII. — LA NOUVELLE ÉDUCATION FRANÇAISE, par JOSEPH WILBOIS. — 404 pages in-12. — Paris, Payot, 1922.

Des aspects nouveaux de la vie d'après-guerre dans sa patrie et ailleurs, M. Wilbois conclut qu'il faut à la jeunesse française une éducation toute nouvelle. Non pas une réforme par rapiéçages, mais une réforme complète, une sorte de révolution, qui saurait cependant garder du passé les éléments sains et utiles. « A rebâtir l'édifice sur des fondements neufs, pense-t-il, nous sommes sûrs de voir tomber ce qui est caduc et persister ce qui est éternel. Nous ferons donc résolument table rase » (p. 14).

C'est la sociologie et la psychologie qui le guideront dans cette entreprise. La sociologie lui fera entrevoir l'homme de demain, aboutissement forcé de toute éducation digne de ce nom ; la psychologie lui découvrira l'âme de l'enfant d'aujourd'hui avec ses possibilités. Au professeur ensuite de réaliser concrètement les directives reçues de ces sciences supérieures.

Non pas que l'auteur ravale le rôle du professeur à celui d'un simple manœuvre : il reconnaît que la science en éducation n'est pas tout ; l'art et la méthode avec leurs secrets traditionnels ou individuels y ont la plus grande influence. C'est même pour développer et diriger ces dons

précieux qu'il propose la création d'écoles spéciales d'un type inédit assez ingénieusement imaginées.

Son système d'éducation est donc commandé par le souci de distinguer d'une part les ressources de l'enfant, d'autre part les fonctions et utilités sociales attendues de lui. A tous il faudra une préparation à la vie publique et à la vie privée concrète et actuelle ; une culture physique bien appropriée et très soignée ; une culture de l'activité sage et audacieuse à la fois. Aux diverses catégories d'esprits, on devra donner des formations intellectuelles variées selon leurs aptitudes et le degré des services à attendre d'eux. Ceci suppose une sélection habile et presque infaillible des jeunes gens : M. Wilbois en trouve le secret dans les tests psychologiques, envers lesquels il montre peut-être une confiance légèrement excessive. Il détaille d'ailleurs tous ces points avec abondance.

Dans cette précision de l'organisation, on reconnaît bien l'auteur de l'*Essai sur la conduite des affaires* et l'éminent Directeur de l'*École d'administration et d'affaires*. Qu'on ne pense pas cependant qu'il limite son horizon aux problèmes de « production » économique. Non, il n'a pas les yeux bandés, selon sa propre expression, et sait parfaitement que les « productions » morales sont des forces elles aussi ; il les apprécie hautement ; conscient des liens intimes du problème de la production et de celui de la destinée, il déclare nettement que sa doctrine n'est pas faite pour qui confond l'agitation et l'action et n'a pas « d'autre idéal que réaliser ce mot vide de sens qu'on prononce réussir » (p. 396).

Ceci achève de faire entrevoir la hauteur de conception qui a présidé à la rédaction de ce livre. Je crains que parfois cette élévation même ne lui nuise en lui donnant une certaine rigidité d'absolu qui est moins à sa place dans des sujets de ce genre.

Est-ce pour cela aussi que parfois M. Wilbois donne aux pédagogues l'impression d'enfoncer des portes ouvertes ou de prononcer des arrêts précipités ? C'est sans aucune acrimonie du moins qu'il se livre à cet exercice et avec une sérénité qui désarme l'adversaire. Je voudrais cependant noter que ses réflexions sur la culture classique m'ont

paru très incomplètes. Elles reposent sur une conception tronquée des humanités, sur des observations assez limitées, sur une enquête dont le lecteur ne peut apprendre ni l'ampleur, ni le procédé, et dont le résultat est diamétralement opposé aux observations que j'ai pu faire moi-même, en Belgique, il est vrai.

Nous devrons attendre longtemps sans doute l'avènement du système préconisé dans ces pages si suggestives. Dans l'entretemps nous pourrons tous appliquer plus d'une de ces suggestions fécondes, même dans d'autres pays que celui de l'auteur. Aux praticiens de l'éducation, il est profitable de recevoir de temps en temps la collaboration généreuse et enthousiaste d'un savant, étranger à leur profession. C'est pour eux une occasion de réfléchir mûrement aux bases de leur propre système, de revivifier leur art au souffle de la science, et de découvrir parfois quelque grain de routine dans l'engrenage de leurs habitudes professionnelles. On gagne toujours à confronter ses idées et sa pratique aux fruits d'une méditation profonde et avertie.

J. Misson, S. J.

XIX. — La Chine, par Henri Cordier, membre de l'Institut, professeur à l'École des langues orientales. — Un vol. de la « Collection Payot ». — Paris, Payot, 1922.

On peut dire que ce petit livre condense en cent trente-huit pages toute la science européenne concernant la Chine : description géographique, situation religieuse, institutions politiques, tant anciennes que modernes ; c'est la première partie. La seconde est un résumé substantiel de l'histoire chinoise, depuis les origines jusqu'au mois d'août 1920. Une table des dynasties impériales et une carte de la Chine achèvent heureusement le tout.

Sous son format exigu, le volume offre au lecteur une véritable encyclopédie des choses de Chine ; elle abonde en renseignements utiles, curieux et toujours précis. On la lit avec plaisir et on la consultera toujours avec fruit. A la date du 9 mars 1922, le Literary Times disait de M. Cordier : « He is admirably well informed ». L'éloge est pleinement mérité.

J. F.

XX. — Le règne de la relativité, par le Vicomte Haldane, traduction française par Henri de Varigny docteur ès sciences. — Un vol. de 590 pages (19-16). — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — 30 fr.

Lord Haldane, ex-chancelier d'Angleterre, fait ici œuvre de métaphysicien.

Au désarroi contemporain il cherche le remède dans les principes directeurs de l'esprit. Or les dirigeants, les hommes de science et les penseurs en général, sont séparés en des camps différents, sinon hostiles. Par ses réflexions sur la connaissance en général, il s'efforce de trouver les relations organiques qui doivent permettre l'harmonieuse unification des diverses formes de connaissance.

Voici qu'en physique les savants des plus modernes proclament que l'esprit joue un rôle essentiel dans la constitution même de l'expérience, que l'expérience, fût-elle d'ordre mécaniciste, dépend des conceptions de l'intelligence et de ses étalons de mesure. C'est un triomphe, une conquête nouvelle du principe philosophique très ancien de la relativité, c'est-à-dire de la dépendance réciproque de l'objet connu et du sujet connaissant.

Lord Haldane marque les degrés corrélatifs de la réalité et de la connaissance. Il y a divers ordres de perfection, en bas la matière dispersée, en haut la personnalité humaine ; ce sont autant de points de vue de la connaissance, distincts, mais qu'on aurait tort de croire exclusifs. Il faut en maintenir l'accord. Le réel doit s'interpréter non pas seulement dans les termes d'un ordre inférieur, tel celui de la matière, mais du point de vue le plus compréhensif, celui de l'homme complet. Et celui-ci, à la réflexion, se découvre constituant d'entièretés plus complexes et plus élevées dans la hiérarchie des perfections : la Volonté générale de l'État, l'Humanité, et la Source immanente du tout : l'Esprit divin.

L'auteur expose dans ce sens le développement de la pensée philosophique depuis Platon, Aristote et Plotin, jusqu'à Kant, Schopenhauer, Hegel et les contemporains. Il ne mentionne guère la pensée chrétienne, sans toutefois lui être hostile ; il lui reconnaît même de beaux mérites, mais il en apprécie très imparfaitement l'excellence. Le dogme catholique, on le devine, doit lui paraître entraver

la pensée par son intransigeance ; grâce à Dieu, ce dogme sera toujours vive et ferme lumière, divine et indispensable, qui luit au milieu des ténèbres.

H. Dopp.

XXI. — L'Académie royale de Belgique depuis sa fondation (1772-1922). — Un vol. de 344 pages (23×15). — Bruxelles, Lamertin-Hayez, 1922.

Il n'y a pas longtemps, l'Académie Royale de Belgique célébrait par d'imposantes cérémonies le 150e anniversaire de sa fondation. Le mardi 23 mai, l'illustre corporation, réunie presque au complet, accueillit dans les salons du Palais des Académies, les 85 représentants que les institutions similaires de 17 pays avaient délégués auprès d'elle. Le Conseil communal de Bruxelles reçut ensuite, dans la grande salle gothique de l'Hôtel de Ville, les académiciens belges et leurs invités. Le lendemain eut lieu l'assemblée générale extraordinaire à laquelle daignait assister Sa Majesté le Roi Albert. Après le discours d'ouverture du Président en exercice, certains délégués étrangers tinrent à exprimer leurs hommages à l'Académie Royale de Belgique. Puis les Présidents des sections détaillèrent brièvement l'œuvre accomplie en chacune d'elles pendant ces 150 ans. Cette réunion fut suivie d'un thé que Leurs Majestés le Roi et la Reine avaient eu l'aimable attention d'offrir aux académiciens et aux délégués dans les jardins de la résidence de Laeken.

Mais l'Académie tenait à marquer cette date d'une œuvre plus durable que ces festivités. Elle fit éditer un volume de 350 pages, narrant avec sobriété ce siècle et demi d'existence.

Un premier chapitre, dû à la plume objective du Secrétaire perpétuel, développe l'histoire générale de l'Académie. On y distingue trois périodes : La période autrichienne, depuis l'octroi des lettres patentes par Marie-Thérèse, le 16 décembre 1772, jusqu'au 21 mai 1794 ; période insuffisamment fructueuse sans doute, surtout à cause des entraves qu'apportaient au développement de l'institution ceux-là mêmes qui l'avaient fondée. Il faut attendre 1816 pour voir l'Académie se réunir à nouveau. C'est la période hollandaise, où l'illustre compagnie s'organise, quoique, cette fois encore,

les tracasseries de l'autorité politique empêchent un essor entièrement décidé. La révolution de 1830 ouvre la troisième période, période nationale. L'Académie se forge l'organisation et le règlement qui vont lui donner de vivre enfin la vie régulière d'un travail fécond. En 1876, elle reçoit, à partager avec sa collègue de Médecine, un local digne d'elle, le Palais actuel des Académies. Elle y tient ses réunions privées et ses assemblées publiques. Chaque année elle publie un bulletin et quelques mémoires couronnés ; elle distribue les prix importants que de généreuses fondations permettent de distribuer à ceux qui se distinguent dans les Sciences, les Arts et les Lettres. La guerre de 1914 vint suspendre ce travail : l'armée allemande ajouta même à la liste de ses exploits celui d'envahir le Palais des Académies, d'en saccager les collections, d'en disperser les archives et la bibliothèque et d'en mutiler les locaux. Cependant des réunions partielles, les seules que permettaient les circonstances, se tenaient malgré l'occupation. Aussi dès janvier 1919 la vie habituelle reprenait et l'Académie Royale n'en préparait qu'avec plus de joie les grandes fêtes de cette année.

Dans les chapitres suivants, sur lesquels nous ne pouvons malheureusement nous étendre, est exposée un peu par le menu l'activité des diverses sections de l'Académie : section des Sciences mathématiques et physiques, par M. Stroobants ; des Sciences biologiques, par M. Massart ; des Sciences minérales, par M. Fourmarier ; des Sciences historiques, par M. Pirenne ; des Sciences philologiques, par M. Thomas ; des Sciences juridiques, par M. Cornil ; des Sciences philosophiques, par M. Leclère ; des Sciences économiques, par M. Mahaim ; Section de Peinture, Sculpture, Gravure et Architecture, par M. Solvay ; section de Musique, par M. Bergmans. Le lecteur y est généralement documenté sur la vie et les travaux des membres défunts ; mais avec une grande modestie le silence est gardé sur l'œuvre et le mérite des membres vivants de la corporation ; seule, leur liste alphabétique est donnée en dernière page.

Enfin, dans le chapitre V, le Secrétaire perpétuel a consigné la liste des fondations académiques destinées à l'encouragement des travailleurs dans le domaine des Sciences, des Lettres et des Arts ; cette liste devrait, dit-il, être mieux fournie. Il y a lieu d'espérer qu'un avenir très prochain amènera la réalisation de ce désir. R. LANGE, S. J.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS (1)

E. Doublet. — HISTOIRE DE L'ASTRONOMIE. — Un vol. de VIII-680 pages (18 × 12). — Paris, Doin, 1922. — 17 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

Sans chercher à découvrir, ce qui est impossible, la toute primitive origine de la science du ciel, l'auteur s'est efforcé de remonter aussi loin que possible, et il a fait de l'histoire de l'astronomie chez les peuples n'appartenant pas au monde classique, Sémites, Américains, Chinois ; mais, on le conçoit, il a fait une part beaucoup plus grande aux Grecs, et surtout aux peuples modernes. C'est à l'histoire de l'astronomie depuis la Renaissance que M. Doublet a consacré la majeure partie de son ouvrage, qui s'étend jusqu'à la mort d'Arago, et se termine par quelques considérations sur l'avenir des études astronomiques, en particulier en France.

B. Chauveau. — ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE. 1er fascicule. Introduction historique. — Un vol. de 100 pages (25 × 16). — Paris, Doin, 1922. — 10 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

L'ouvrage de M. Chauveau a pour but de combler une lacune de notre littérature scientifique dans laquelle il n'existe pas — et n'a d'ailleurs jamais existé — de Traité spécial sur l'ensemble des phénomènes électriques de l'atmosphère.

Par une « Introduction historique », il a voulu mettre en tête de son livre un tableau nettement dessiné des différentes étapes parcourues depuis Franklin jusqu'à nos jours ; et sous cette forme, en remettant en lumière des noms de précurseurs trop vite oubliés, l'occasion lui a paru bonne de signaler, avec les précisions nécessaires, quelques injustices et quelques erreurs.

Introduction historique : première période (1750 à 1860) ; deuxième période (1860 à 1899) ; période actuelle.

Stéphan Christesco (Capitaine). — EXPLORATIONS DANS L'ULTRA-ÉTHER DE L'UNIVERS ET LES ANOMALIES DES THÉORIES D'EINSTEIN. — Un vol. de 440 pages (25 × 16), avec 30 planches hors texte et 5 dans le texte. — Paris, Alcan, 1922. — 30 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

Cet ouvrage d'un savant roumain des plus distingués est une intéressante étude sur l'organisation cellulaire des Mondes et les anomalies des théories d'Einstein. L'auteur a exposé les raisons qui l'ont poussé depuis plus de trente ans à échafauder une nouvelle hypothèse de la formation des Mondes, dans le cadre des doctrines de Kepler, Newton, et Laplace.

(1) La REVUE mentionne dans cette liste les ouvrages envoyés à la Rédaction. Cette mention est, non une recommandation, mais un accusé de réception.

Chapel (Général). — ÉTHER, ÉLECTRICITÉ, RELATIVISME (Conférence). — Une brochure de 40 pages (21 × 13). — Paris, Gauthier-Villars, 1922.

Note de l'éditeur. Extrait :

Le Général Chapel oppose aux idées d'Einstein une thèse franchement antagoniste, à laquelle il a été amené par des études sur le rôle de l'électricité dans les accidents par inflammation spontanée ou par explosion. Il montre que toutes les grandes manifestations de l'énergie, lumière, électricité, chaleur, s'expliquent en substituant à l'éther amorphe, inerte, un éther matériel, pesant, cinétique.

Max Born. — LA CONSTITUTION DE LA MATIÈRE. Traduit par H. Bellenot. — Un vol. de 84 pages (26 × 16). — Paris, Blanchard, 1922. — 6 fr.

Trois conférences sur l'atomistique physique.

Note de l'éditeur : Physiciens, Chimistes, Étudiants en sciences, trouveront dans ce petit ouvrage concis et clair, l'exposé élémentaire et synthétique des théories sur la constitution de la matière, théories qui sont, comme on sait, l'objet des préoccupations essentielles de la physique actuelle.

A. Berthoud. — LA CONSTITUTION DES ATOMES. — Un vol. de 157 pages (16 × 11) et 18 figures. — Paris, Payot, 1922. — 4 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

Ce livre peut être compris par tout lecteur qui possède une culture scientifique correspondant à des études secondaires. L'auteur n'a pas voulu faire œuvre de vulgarisation, mais il a tenu à rester élémentaire.

Table des Matières. — I. L'électron et la constitution de la matière. — II. Le principe de la relativité et la masse. — III. Radioactivité et isotropie. — IV. Les rayons X. — V. L'atome de Rutherford. — VI. La théorie des quanta. — VII. L'atome de Bohr. — VIII. La structure des lignes spectrales. — IX. La structure des atomes et les rayons X. — X. La structure des atomes et l'affinité chimique. — Appendice (3 notes mathématiques).

Th. Moreux (Abbé), Directeur de l'Observatoire de Bourges. — POUR COMPRENDRE EINSTEIN ! — Un volume in-16 de 250 pages (19 × 12). — Paris, Doin, 1922. — 7 fr.

Un livre écrit en un style clair, vivant, compréhensible à tous ; un ouvrage de haute vulgarisation, mais exempt de cet appareil mathématique, repoussant les non-initiés, tel est le nouveau volume que vient d'écrire, à la demande de ses nombreux lecteurs, M. l'abbé Moreux, le savant directeur de l'Observatoire de Bourges.

Tel quel, le livre de l'Abbé Moreux constitue une excellente mise au point des nouvelles théories et une délimitation de leur portée scientifique.

Des idées neuves et originales sur l'Espace et le Temps, en accord avec l'orientation de la physique moderne, complètent heureusement ce volume.

Daniel Berthelot. — LA PHYSIQUE ET LA MÉTAPHYSIQUE DES THÉORIES D'EINSTEIN. — Un vol. de 47 pages (19 × 12). — Paris, Payot. — 2 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

L'auteur montre la fragilité d'hypothèses qui ne s'appliquent qu'à un univers purement visuel, mais il indique que si elles ont excité au plus haut point l'attention du public, c'est parce qu'elles présentent sous un jour nouveau des problèmes aussi vieux que l'humanité

et sur lesquels on pouvait croire que tout avait été dit : l'élixir de longue vie, la jeunesse éternelle, la communion des morts et des vivants dans la quatrième dimension de l'espace. Elles apportent ainsi un appui inattendu à quelques-unes des plus vénérables traditions des religions et des philosophies primitives comme à certains des rêves les plus tenaces des alchimistes et des spirites contemporains.

A. B. Duval. L. Hébrard. — TRAITÉ PRATIQUE DE NAVIGATION AÉRIENNE. — Préface par M. Laurent Eynac. — Un vol. de 60 pages (29 × 23). — Paris, Gauthier-Villars. 1922.

Voici les six chapitres du Traité : *Règles générales de navigation aérienne, Compas, Navigation estimée, Navigation observée, Instruments de bord et de navigation, Pratique de la navigation.* Plus de cent figures spécialement dessinées et dont cinquante sont relatives aux instruments, accompagnent et clarifient encore un texte déjà dépouillé de toute mathématique superflue.

L'ouvrage est à jour à *juin 1922*, c'est-à-dire que les plus récentes acquisitions techniques, comme les câbles électriques de guidage, y sont étudiées.

Auguste Conduché. — LES PROGRÈS DE LA MÉTALLURGIE DU CUIVRE. — Un vol. de XVI-254 pages (19 × 13) avec 26 figures dans le texte, de l'Encyclopédie Léauté. — Paris, Masson-Gauthier-Villars, 1922. — 14 francs.

Note des éditeurs. Extrait :

L'*Encyclopédie* Léauté (deuxième série publiée sous la direction de M. André Léauté) constitue le prolongement d'une collection bien connue qui, dans les années qui ont précédé la guerre, a donné naissance à plus de 400 volumes différents.

Mais, à des temps nouveaux, besoins nouveaux, et, dans cette deuxième série, ne seront publiés que des volumes sur des sujets techniques, *économiques et financiers*, touchant à l'*industrie*.

Cette collection se propose de choisir, selon l'actualité, les sujets importants pour l'industrie et ayant subi une évolution profonde pendant ces dernières années, et d'en donner une monographie épuisant le sujet traité au point de vue scientifique, économique et pratique.

Du fait que la métallurgie du cuivre a fait, depuis quelques années, un progrès considérable dû aux appareils et aux méthodes employés, le livre de M. Conduché présente un double intérêt : non seulement il fournit une documentation nouvelle et indispensable pour les industries du cuivre, mais il servira d'exemple d'étude systématique des perfectionnements industriels.

Louis Hackspill. — L'AZOTE. LA FIXATION DE L'AZOTE ATMOSPHÉRIQUE ET SON AVENIR INDUSTRIEL. — Un vol. de XII-272 pages (19 × 13) avec 39 figures dans le texte, de l'Encyclopédie Léauté. — Paris, Masson-Gauthier-Villars, 1922. — 14 fr.

Note des éditeurs. Extrait :

Ce volume apporte, dans un problème industriel dont l'importance est trop connue pour qu'il y ait lieu de la souligner, une documentation d'un intérêt supérieur, fournie à l'auteur par ses fonctions dans les commissions militaires de contrôle chimique, en Allemagne, et mise en valeur par une critique sévère et pénétrante.

Jean Rouelle (Colonel). — TRAVAIL ET ÉLABORATION DE L'ACIER. — Un volume in-16 de 200 pages avec 45 figures, de la collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1922. — 5 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

Ce livre sur l'Acier tient les promesses de l'ouvrage que le même auteur a récemment publié sur la Fonte dans la même Collection : c'est, comme son devancier, un exposé simple, clair, à la portée de tous, et cependant complet, des multiples transformations que la Fonte doit subir avant de devenir de l'Acier. Les méthodes les plus récentes sont décrites avec une précision et un souci du détail qui rendent ce livre indispensable à tous ceux qui s'occupent de sidérurgie.

Jacques Levainville. — L'INDUSTRIE DU FER EN FRANCE. — Un vol. in-16 de 200 pages avec 4 cartes, de la collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1922. — 5 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

Technicien doublé d'un économiste, mettant à profit une expérience longuement acquise dans les mines de France et dans celles de l'Afrique du Nord, M. J. Levainville nous documente merveilleusement sur le passé, le présent et l'avenir de l'Industrie sidérurgique en France. Suivant l'évolution tantôt progressive, tantôt régressive de cette industrie, l'auteur nous trace un tableau aussi saisissant que fidèle de ce que fut chez nous l'industrie du fer, de ce qu'elle est, de ce qu'elle doit être, et il nous expose, avec une clarté faite de logique, les raisons économiques des fluctuations qu'elle a subies au cours des siècles.

Paul Vérola, Ingénieur en chef des Poudres. — CHIMIE ET FABRICATION DES EXPLOSIFS. — Un vol. de VI-202 pages (18 × 11) de la collection Armand Colin. — Paris, Colin, 1922. — 5 fr.

Extrait de la table des matières : I. Définition et constitution des Explosifs. — II. La Nitration. — III. Les matières premières minérales. — IV. Les matières premières organiques. — V. L'appareillage dans la fabrication des explosifs. — VI. Fabrication des explosifs par juxtaposition des éléments. — VII. Fabrication chimique des explosifs. Nitration des corps de la série grasse. — VIII. Fabrication des poudres à base de nitrocellulose. — IX. Fabrication chimique des explosifs. Nitration des corps de la série aromatique. — X. Organisation d'une fabrique d'explosifs. Conclusion.

Victor Lefebure (major). — L'ÉNIGME DU RHIN. LA STRATÉGIE CHIMIQUE EN TEMPS DE PAIX ET EN TEMPS DE GUERRE. Préfaces de **M. le Maréchal Foch** et du **Maréchal Sir Henry Wilson.** Traduit de l'anglais par Marcel Thiers. — Un vol. de 246 pages (23 × 15) de la Collection de Mémoires, Études et Documents pour servir à l'Histoire de la guerre mondiale. — Paris, Payot, 1922. — 7.50 fr.

Le livre de M. Lefebure vient à son heure ; les fonctions remplies par l'auteur au cours des hostilités et sa compétence donnent une valeur particulière à son ouvrage. Après avoir fait ressortir l'importance énorme de l'industrie chimique dans la conduite de la guerre, il nous fait sentir combien sont vaines toutes les formules de désarmement ; il nous montre avec quelle facilité une nation, puissamment armée pour la lutte pacifique sur le terrain des fabrications organiques, peut passer aux fabrications de guerre et les avantages qu'elle trouve dans une organisation souple, adaptée aux conditions économiques du jour.

Louis Roule. — LES POISSONS MIGRATEURS, LEUR VIE ET LEUR PÊCHE. UN IMPORTANT PROBLÈME D'HISTOIRE NATURELLE OCÉANOGRAPHIQUE ET ÉCONOMIQUE. — Un vol. de VI-176 pages (19 × 12) de la Bibliothèque de culture générale. — Paris, Flammarion, 1922. — 4,50 fr.

Extrait de la table des matières :

I. Considérations préliminaires sur les migrations chez les poissons. — II. Le saumon, ses migrations, et les migrateurs potamotoques. — III. Les tropismes migrateurs du saumon. — IV. L'anguille et les migrateurs thalassotoques. — V. Le thon et les poissons saisonniers. — VI. Le problème océanographique des poissons migrateurs. — VI. Le problème économique des poissons migrateurs.

M. Nicolle et **J. Magrou**. — LES MALADIES PARASITAIRES DES PLANTES. INFESTATION. INFECTION. — Un vol. de 199 pages (20 × 13) — Paris, Masson, 1922. — 8 fr.

Extrait de la table des matières :

I. Maladies des plantes dues aux animaux. — II. Maladies des plantes dues aux phanérogames. — III. Maladies des plantes dues aux thallophytes. — IV. Maladies des plantes dues aux bactéries. — V. Vue générale sur les maladies parasitaires des plantes.

Charles Janet. — NOTE PRÉLIMINAIRE SUR L'ORTHOBIONTE DES CHARACÉES. — Un vol. de 18 pages (25 × 16). — Beauvais, Dumontier et Haqué, 1922.

Benoît Padey. — LES SECRETS DE LA BAGUETTE ET L'ART DU SOURCIER. — Un vol. de 322 pages (25 × 17) avec 52 planches et de nombreux schémas. — Paris, Amat, 1922. — 37 fr.

Note de l'éditeur. Extrait :

L'ouvrage traite de la découverte des sources, des mines de toute nature, de la houille, du pétrole, du diagnostic des maladies et donne un grand nombre de curieux détails sur les radiations de l'homme, des animaux et des plantes. Un chapitre géologique explique comment se reconnaissent l'abondance et la qualité de l'eau affectant chaque étage géologique.

M. Padey indique les qualités requises pour être sourcier.

Pierre Villey. — LA PÉDAGOGIE DES AVEUGLES. — Un vol. in-16 de la Collection « Les Questions du temps présent ». — Paris, Alcan, 1922. — 8 fr.

M. Villey, aveugle depuis l'âge de 4 ans, docteur ès lettres et professeur de littérature française à l'Université de Caen, auteur d'un ouvrage sur la psychologie des aveugles, était désigné pour tenter la synthèse de ce qu'un siècle un tiers d'expérience a enseigné sur ce sujet, et donner des directives pour l'avenir.

On suit dans son livre les procédés par lesquels l'aveugle prend connaissance du monde extérieur, ou apprend à se diriger seul ; l'exposé aussi des méthodes et des appareils qui lui permettent d'acquérir une pleine culture intellectuelle.

Dans une seconde partie, l'auteur étudie les moyens de faire bénéficier tous les aveugles français des méthodes d'enseignement exposées dans la première.

Camille Cavallier. — NOTES ÉCONOMIQUES D'UN MÉTALLURGISTE. — Un vol. de IX-153 pages (23 × 14). — Paris, Gauthier-Villars, 1921. — 3,50 fr.

Notes écrites pendant et après la guerre.

L'auteur compare tout d'abord l'industrie française et l'industrie allemande au point de vue de l'exportation. Il traite ensuite la question de la participation des industriels à la conduite des affaires du pays. Après une étude sur les rapports du patron avec le capital et le travail, l'auteur soumet à une pénétrante analyse la crise économique dans laquelle le monde se débat depuis plus de deux ans,

mettant en pleine lumière les causes de cette crise et indiquant les remèdes qui s'imposent.

Henry Bradfort Smith. — FOUNDATIONS OF FORMAL LOGIC. — Un vol. de 56 pages (24 × 16). — Philadelphia, University Press, 1922.

Table des matières : Forms of proposition recognized by the logician. — II. Relations of « better » and « worse ». Immediate inference. — III. Moods of the syllogism. — IV. General solution of the sorites. — V. Foundations of the calculus. — VI. General solution of the syllogism. — VII. On certain supposed fallacies. — VIII. Alternative systems. Non-Aristotelian logic. — IX. The classical system and its verification.

D. Nys. — LA NOTION D'ESPACE. — Un vol. de 446 pages (25 × 17). Bruxelles, Sand, 1922. — 30 fr.

Note de l'éditeur : Cet ouvrage est le développement ou la mise au point d'une étude couronnée par l'Académie royale de Belgique et consignée dans ses Mémoires en 1907. Il comprend deux parties : Dans la première, intitulée « La Nature de l'Espace », l'auteur expose et soumet à un examen critique les diverses théories spatiales réparties en trois groupes : théories ultraréalistes, théories ultrasubjectivistes, théories réalistes modérées. Il souscrit à une conception réaliste modérée qui semble échapper aux critiques antérieures et répondre à la fois au langage ordinaire et scientifique. Dans une seconde partie, intitulée « Propriétés de l'Espace », il cherche à résoudre les questions suivantes : L'espace est-il un ou multiple, fini ou infini, mobile ou immobile, essentiellement relatif, occupé par une matière continue ou discontinue, homogène ou hétérogène, à trois ou à *n* dimensions ? L'ouvrage est complété par un Index des noms cités et une Table analytique détaillée.

Mathieu Gr. Peucesco. — LE MÉCANISME DU COURANT DE LA CONSCIENCE. — Un vol. in-8° de 191 pages (25 × 16). — Paris, Alcan, 1922. — 20 fr.

Note de l'éditeur :

« Le Mécanisme du Courant de la Conscience » est un essai de réduire les lois psychologiques de la pensée aux lois de la vibration, telles que nous les connaissons dans les sciences physiques.

Et l'auteur nous montre : I) par des recherches histologiques et physiologiques, que les terminaisons nerveuses sont effectivement dotées de mouvements oscillatoires et vibratoires ; II) par des recherches et expériences psychologiques, que le mécanisme vibratoire régit le courant de la conscience.

Charles Lalo. — L'ART ET LA MORALE. — Un vol. in-16 de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan. — 7 fr.

Note de l'éditeur. Extrait : L'auteur examine et critique les principales opinions qui ont cours sur le sujet, depuis celles de Platon ou des Pères de l'Église jusqu'à celles de Brunetière et de Renan, de Tolstoï et d'Oscar Wilde ou de certains contemporains des camps les plus différents.

La vraie solution serait l'organisation d'une « société des valeurs » dans la vie humaine ; point de valeurs absolues, sources de tant d'insolubles conflits ; mais des valeurs normales et des valeurs idéales, dont la détermination n'échappe pas en droit aux méthodes scientifiques.

Dans la synthèse éminente qui doit grouper toutes les formes de notre activité sans exception, l'Art remplit la fonction vitale de jeu supérieur ou de luxe social discipliné.

Georges Davy. — La Foi jurée. Étude sociologique du problème du contrat. La formation du lien contractuel. — Un vol. in-8° de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1922. — 17,50 fr.

Note de l'éditeur. Extrait : Aucun des anciens droits classiques ne permet de saisir la nature primitive du contrat. Il faut donc s'adresser à des sociétés moins évoluées, aux sociétés dites primitives, y examiner la fonction contractuelle alors qu'elle s'exerce avant l'existence spécifique du contrat et y étudier les conditions sociales qui ont produit l'éclosion de phénomènes purement contractuels. L'auteur est ainsi amené à retrouver l'origine du contrat dans diverses institutions : dans l'alliance par le sang, dans le mariage et dans le *potlatch*, cette curieuse institution à la fois rituelle, juridique, économique et sociale et qui est très répandue dans certaines civilisations de transition. Il rejoint alors et explique le formalisme des anciens droits classiques ; et il voit naître et sanctionner cette habitude de s'obliger volontairement qui deviendra peu à peu l'âme du droit et de la morale.

W. Malgaud. — Le problème logique de la société. — Un vol. de 273 pages (23 × 15) de la Bibliothèque de Philosophie contemporaine. — Paris, Alcan, 1922. — 15 fr.

Note de l'éditeur. Extrait : Tout phénomène social développé a son siège dans un groupe propre (groupe politique, économique, moral, etc.). Tout groupe de ce genre obéit à une même loi ; il se forme d'abord, il s'organise ensuite suivant les nécessités d'un principe d'ordre.

Quand la sociologie retrace le devenir des sociétés, sa construction est en même temps celle de l'ensemble des idées dont nous usons. Son domaine est un domaine logique, dont les lois, à leur tour, ne peuvent être que logiques. Le problème logique de la société devient ainsi une branche du problème général de la connaissance.

Pierre Tisserand, Docteur ès lettres, Agrégé de Philosophie. — Œuvres de Maine de Biran, accompagnées de notes et d'appendices, publiées avec le concours de l'Institut de France. Tome II. Influence de l'habitude sur la faculté de penser. — Un vol. de LXXIII-364 pages (23 × 14). — Paris, Alcan, 1922. — 20 fr.

Extrait d'une note de l'éditeur : Cette nouvelle édition présente sur celle publiée de son vivant même par Maine de Biran, et réimprimée sans modifications par Cousin, l'avantage de contenir : 1° Un grand nombre de notes inédites que Maine de Biran avait écrites une dizaine d'années après sa publication en marge de l'exemplaire qu'il possédait ; 2° Sous forme d'appendices, plusieurs extraits du *premier Mémoire sur l'habitude*, et du *brouillon* de celui-ci, notamment une longue note sur l'histoire de l'idéologie.

E. Castuèil. — Jusqu'au seuil. — Un vol. de 90 pages (24 × 16). — Paris, Maloine, 1922. — 5 fr.

Roman para-médical dont l'action se passe à Nice.

La Carrière et les Travaux de Pasteur

Louis Pasteur naquit à Dôle, le 27 décembre 1822 (1). Son père, ancien légionnaire, était tanneur ; il habita successivement Dôle, Marnoz et Arbois. C'est dans cette dernière ville que Louis fréquenta d'abord l'école primaire, ensuite le collège. En 1839, après sa rhétorique, il alla au collège de Besançon achever ses études moyennes et obtint le titre de bachelier (bachelier ès lettres), le 29 août 1840.

A la rentrée du mois d'octobre, sur la proposition du proviseur du collège royal de Besançon, il devint maître supplémentaire en cet établissement. Cette nomination témoigna d'autant plus de l'estime pour les qualités morales de Pasteur que le succès de son baccalauréat n'avait guère été extraordinaire.

Élève et répétiteur à la fois, Pasteur suivit de nouveau le cours de mathématiques spéciales et se prépara au concours d'entrée à l'École normale.

(1) Strasbourg et Paris s'apprêtent à célébrer le centenaire de cette naissance. Le monde entier s'associera à leurs témoignages d'admiration et de reconnaissance pour un savant illustre. La Société scientifique de Bruxelles, fière de l'avoir compté dans ses rangs, rappelle ici en quelques traits, par la plume d'un de ses membres, distingué bactériologue, la belle œuvre de ce chercheur catholique. (Note de la Rédaction.)

Le 13 août 1842, il obtint devant la Faculté de Dijon le titre de bachelier ès sciences mathématiques et, le 26 du même mois, il fut déclaré admissible à la deuxième série des épreuves pour le concours de l'École normale. Classé quinzième sur 22 élèves, il trouva cette place trop peu favorable et résolut de se représenter l'année suivante à la même épreuve.

En octobre il partit pour Paris et suivit les cours du lycée Saint-Louis. Cette fois, à l'examen d'entrée à l'École normale il fut reçu quatrième. Il entra en 1843 et fit d'excellentes études. Son goût très marqué pour les travaux pratiques fit de lui, comme disaient ses condisciples, « un pilier de laboratoire ».

Après avoir subi l'examen de licence, il fut classé troisième sur quatorze candidats au concours d'agrégation (sciences physiques). Sa leçon de physique et de chimie fut un remarquable succès dont le Jury augura « ce sera un excellent professeur ».

Balard, professeur à la Faculté des sciences et maître de conférences à l'École normale, attacha le nouvel agrégé à son laboratoire Il fit des instances réitérées auprès du Ministre de l'Instruction publique pour que Pasteur ne fût pas désigné pour un lycée de province et qu'on le laissât tout à la préparation de sa thèse de doctorat.

Ce fut le 23 août 1847 qu'il soutint ses deux thèses. Celle de chimie avait pour titre : *Recherches sur la capacité de saturation de l'acide arsénieux. — Étude des arsénites de potasse, de soude et d'ammoniaque.* Sa thèse de physique était intitulée : *Une étude des phénomènes relatifs à la polarisation rotatoire des liquides.*

Nommé professeur de physique au lycée de Dyon, en novembre 1848, il s'y dévouait à ses nouvelles fonctions tandis que son ancien maître Balard s'efforçait de lui obtenir un poste de suppléant à l'École normale ou une chaire d'université.

En 1849 il fut désigné à la Faculté de Strasbourg comme suppléant à la chaire de chimie. Il y épousa quelques mois après son arrivée la fille du recteur de cette université, Mlle Marie Laurent. Il s'acquit à Strasbourgune grande réputation tant par son enseignement que par ses travaux sur la chimie et la cristallographie.

En 1854 la nouvelle Faculté des sciences de Lille le reçut comme professeur et doyen. Grâce à Pasteur et à son enseignement clair, brillant et solide, cette nouvelle Faculté prit d'emblée un essor considérable et rivalisa avec les plus florissantes.

Dans son magnifique discours d'inauguration, il avait dit : « dans les champs d'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés ». Cette parole devait se vérifier en lui-même. C'était en 1856. Un industriel de Lille, aux prises comme ses collègues avec de graves mécomptes dans la fabrication de l'alcool, recourut aux conseils du doyen de la Faculté. Pasteur, observateur préparé, fit au cours de son inspection de cette industrie les constatations qui servirent de point de départ à ses remarquables travaux sur les fermentations.

En 1857, on le chargea de la direction scientifique de l'Éccle normale. Depuis quelques années cette école périclitait. Son attachement à l'institution qui l'avait initié à la science lui fit un devoir d'accepter cette nouvelle charge et de quitter la Faculté de Lille, dont l'avenir lui parut désormais bien assuré. Arrivé à Paris, il y poursuivit ses travaux sur la fermentation alcoolique et entreprit en 1859 ses mémorables recherches sur la génération spontanée.

Il fut élu membre de l'Académie des sciences le 8 décembre 1862, et c'est au sein de cette compagnie qu'il soutint victorieusement la lutte contre les hétérogénistes ou partisans de la génération spontanée.

En 1864 il étudia les maladies des vins. Ses recherches démontrèrent que chacune de ces altérations est due à la

multiplication de germes spécifiques et qu'il suffit de chauffer le vin entre 50° et 60° pour le mettre à l'abri de ces maladies.

L'année suivante, à la demande de son ancien professeur Dumas, il s'occupa de la maladie des vers à soie. Une épidémie persistante ruinait la sériciculture ; les populations du Midi en étaient dans la misère. Un labeur scientifique de quelques années lui permit d'indiquer aux sériciculteurs une méthode de grainage qui sauva leur industrie.

En 1868 le gouvernement avait décidé de construire pour le savant chercheur des laboratoires dignes de lui. Les travaux de construction à peine commencés, une hémorragie cérébrale faillit enlever Pasteur. Heureusement il se rétablit au point de ne plus conserver qu'une légère raideur dans les membres du côté gauche ; son intelligence ne subit à aucun moment la moindre atteinte.

Il devint en 1873 membre associé de l'Académie de médecine. Grand remueur d'idées, il s'attacha à y convaincre ses confrères du rôle pathogénique des infiniment petits dans la médecine et la chirurgie.

En 1874, l'Assemblée nationale, en reconnaissance des éclatants services rendus par Pasteur à la science et au pays, lui accorda une pension viagère de douze mille francs, laquelle fut doublée en 1883 en récompense de ses nouvelles découvertes.

En 1877 il aborda l'étude du charbon bactéridien et établit par des recherches à l'abri de toute critique, le rôle pathogénique du bacille découvert par Rayer et Davaine.

Trois ans plus tard il trouva les méthodes d'atténuation et détermina successivement les méthodes de vaccination contre le choléra des poules, le charbon bactéridien et le rouget des porcs.

Durant l'année 1880 il entreprit ses mémorables travaux sur la rage et fit connaître quelques années après la vaccination antirabique, une des plus belles découvertes connues de l'histoire, tant au point de vue humanitaire qu'au point de vue scientifique.

Il mourut le 28 septembre 1895 à Villeneuve-l'Etang, entouré de sa famille et de ses élèves. Il terminait sa vie comme il l'avait menée, en bon chrétien ; pendant son agonie « une de ses mains était dans la main de Mme Pasteur ou de l'un des siens, l'autre tenait un crucifix » (Vallery-Radot).

Pour mettre en lumière toute la portée théorique et pratique des travaux de Pasteur, il est bon de les décrire dans leur ordre chronologique car tous procèdent, par un enchaînement de faits bien observés, de ses études sur les fermentations.

Nous envisagerons successivement ses travaux sur la chimie, sur les fermentations, sur la génération spontanée, sur la pébrine ou maladie des vers à soie, sur le charbon bactéridien et vaccination anti-charbonneuse, sur la rage et la vaccination antirabique. A cet exposé nous ajouterons quelques explications sur les travaux de ses élèves et sur les progrès réalisés en chirurgie grâce à l'antisepsie et à l'asepsie, deux méthodes de traitement nées sous l'influence directe de ses découvertes.

TRAVAUX DE CHIMIE

Nous nous contenterons de décrire ici les recherches relatives à l'acide tartrique.

Soit dit en passant, Pasteur, docteur en chimie et en physique, s'intéressa d'une façon toute spéciale aux phénomènes de la cristallisation et de la polarisation. En mars 1848 il lut à l'Académie des sciences un mémoire intitulé : *Recherches sur le dimorphisme*. Il avait constaté que certaines substances pouvaient cristalliser dans deux systèmes différents suivant les procédés de cristallisation. Ainsi le soufre formait des cristaux tout différents lorsque, dissous dans le sulfure de carbone, l'évaporation dégageait son dissolvant ou lorsque fondu au creuset il revenait à l'état solide en se refroidissant.

La même année, Pasteur élucida, dans un mémoire

également adressé à l'Académie, la constitution mystérieuse jusque-là de l'acide paratartrique, aussi appelé acide racémique.

L'acide tartrique était connu depuis 1770, grâce au chimiste suédois Scheele, qui l'avait isolé du tartre formé dans les tonneaux de vin ; mais l'acide racémique, obtenu exceptionnellement lors de la fabrication de l'acide tartrique, déconcertait tous les chimistes.

En effet, ces deux acides, identiques au point de vue de la cristallisation et au point de vue de la composition atomique, différaient complètement dans leur action sur la lumière polarisée : l'acide tartrique ou le tartrate en faisait tourner le plan de polarisation vers la droite, tandis que le paratartrate restait sans action (1).

Ni Gay-Lussac ni Berzelius n'étaient arrivés à élucider ce problème.

Pasteur en examinant au microscope les cristaux de tartrate put y constater de petites facettes qui avaient complètement échappé à l'observation de ses devanciers. Ces facettes n'existant que sur la moitié des crêtes, constituaient ce qu'on appelle une hémiédrie, et déterminaient une dissymétrie des cristaux.

Attribuant celle-ci à une dissymétrie des molécules mêmes groupées dans la forme cristalline, Pasteur mit sur le compte de cette structure moléculaire la déviation de la lumière polarisée ; la neutralité optique du paratar-

(1) Lorsqu'un rayon lumineux traverse un cristal de spath d'Islande (carbonate de calcium cristallisé), il se dédouble en deux rayons, l'un ordinaire, qui suit les lois ordinaires de la réfraction, l'autre extraordinaire, qui obéit à d'autres règles.

Dans le polarimètre, le prisme de Nicol formé par accolement de deux spaths d'Islande taillés, est disposé de telle façon qu'un seul de ces deux rayons traverse le prisme et constitue de la lumière polarisée rectiligne tandis que l'autre subit une réflexion qui l'envoie se perdre dans la paroi noircie de la monture du nicol.

Un grand nombre de substances font tourner la direction de polarisation de cette lumière émergente soit vers la droite (dextrogyres), soit vers la gauche (lévogyres), tandis que d'autres ne l'influencent pas.

trate devant à son avis résulter de l'absence de structure hémiédrique. Mais, contrairement à son attente, les cristaux de paratartrate étaient également hémiédriques ; toutefois, chose remarquable, les facettes hémiédriques de ces cristaux étaient inclinées tantôt à droite tantôt à gauche. Pasteur eut alors l'idée de séparer les cristaux hémièdres à droite et les cristaux hémièdres à gauche, et d'examiner isolément leur action sur la lumière polarisée. Il put constater que les premiers la faisaient tourner à droite, les seconds à gauche. En mélangeant des poids égaux des deux sortes de cristaux, il obtint une solution inactive sur la lumière.

Cette découverte donna l'explication de la constitution de l'acide racémique : celui-ci n'était qu'une combinaison à masses égales d'acide tartrique droit et d'acide tartrique gauche.

Restait à élucider la provenance de cet acide. Pour résoudre ce problème, Pasteur entreprit un grand voyage d'études et visita de nombreuses fabriques d'acide tartrique. Il trouva que l'acide racémique se rencontre en quantités plus ou moins grandes dans toutes les industries traitant le tartre brut. De plus, en 1853, il put transformer de l'acide tartrique en acide racémique. Ses recherches établirent qu'il existe quatre espèces d'acide tartrique : l'acide droit, l'acide gauche, la combinaison des deux précédents ou l'acide racémique et enfin un acide tartrique à molécules inactives sur la lumière polarisée.

TRAVAUX SUR LES FERMENTATIONS

Une circonstance fortuite avait amené Pasteur à étudier le phénomène de la fermentation alcoolique.

Pour juger de l'importance de ses découvertes dans ce domaine, il faut se reporter à l'enseignement de cette époque sur la fermentation. Les théories de Berzelius et de Liebig faisaient loi. Pour le premier, la levure que l'on ajoutait à une solution sucrée pour obtenir de l'alcool

était une espèce de catalyseur, c'est-à-dire une substance agissant par contact, sans entrer en combinaison avec le produit formé. Pour le second, le ferment était une substance organique très altérable qui, en se décomposant, communiquait son mouvement de décomposition à la matière fermentescible. Ni l'un ni l'autre ne connaissait le rôle des levures.

Ces éléments microscopiques avaient cependant déjà été observés, notamment par Leeuwenhoek en 1680 et au commencement du XIXe siècle par Cagniard-Latour et par Schwann. En 1836, le physicien Cagniard-Latour, examinant des cuves de bière en fermentation, avait constaté que la levure était constituée d'un agglomérat de cellules ovoïdes « susceptibles de se reproduire par bourgeonnement et n'agissant probablement sur le sucre que par quelque effet de leur végétation et de leur vie ». Vers la même époque, un professeur de l'Université de Louvain, Schwann, allemand d'origine, devenu belge par option, décrivit les cellules de levure « comme des champignons articulés, qu'on pourrait, dit-il, appeler champignons du sucre et qui se multiplient et pour se nourrir décomposent le sucre en acide carbonique et en alcool ».

Mais la véritable portée de ces deux observations resta incomprise. Sous l'influence des idées de Liebig et de son école, on continuait à considérer les phénomènes de fermentation comme des actions exclusivement chimiques.

Il était réservé au génie de Pasteur d'établir par des expériences péremptoires la féconde théorie de la nature animée des agents de fermentation.

En effet, en semant une trace de levure dans de l'eau ne renfermant que du sucre et des sels minéraux cristallisables, il obtenait le développement des cellules et la fermentation alcoolique. Puisque dans ce milieu toute matière organique était exclue, qui aux yeux de Liebig

constituait le ferment, l'erreur de ce dernier était définitivement établie.

En étudiant les accidents industriels dans la fabrication de l'alcool de betterave, Pasteur put en outre constater au microscope que les globules de la levure étaient ronds quand la fermentation était bonne et qu'ils étaient allongés quand la fermentation devenait lactique. L'idée lui vint qu'il devait exister une relation entre la forme, disons, pour être plus explicite, entre la variété de levure et les produits de fermentation. En effet, à côté de la levure, ferment alcoolique du sucre, il put isoler du jus de betterave en fermentation, un ferment constitué de corpuscules notablement plus petits et de forme allongée qui, en se développant, produisit de l'acide lactique.

Dès ce moment, Pasteur considéra comme établie la spécificité des fermentations : la levure ne peut produire de l'acide lactique, ni le ferment lactique de l'alcool ; chaque ferment possède une fonction propre.

Dès lors il devint possible d'éviter les mécomptes dans la fabrication de l'alcool, en utilisant des ferments purs, c'est-à-dire non contaminés par des cellules de ferments étrangers ou nuisibles.

Mais comment expliquer la fermentation spontanée du moût, sans addition de levure ? Par une série d'expériences très ingénieuses, Pasteur démontra qu'au moment de la maturité des raisins, ces cellules de levure se trouvent sur le bois de la grappe et sur la peau des grains de raisin, pas à l'intérieur de ceux-ci.

Quant aux maladies des vins, elles provenaient, ainsi qu'il put l'établir, du développement dans le vin de ferments organisés spéciaux. Parmi ceux-ci deux aérobies (ne se développant qu'en présence d'air) se présentent fréquemment ; l'un, le *mycoderma aceti* change l'alcool en vinaigre ; l'autre, le *mycoderma vini* ou fleur de vin, forme à la surface du vin un voile blanc et épais, et

oxyde l'alcool en donnant comme produits de décomposition l'acide carbonique et l'eau.

Non moins dangereux pour le vin sont les nombreux ferments anaérobies (se développant en absence d'air), qui produisent soit la maladie de la mannite (vin doux et aigre à la fois), soit la maladie de la graisse (vin filant comme de l'huile), soit la maladie de la tourne ou de la pousse (production intense de gaz dans les fûts), etc.

Toutes ces altérations, celles produites par les aérobies comme celles résultant du développement des anaérobies, peuvent être prévenues en chauffant le vin durant quelques minutes entre la température de 50 à 60 degrés. Cette opération, connue sous le nom de pasteurisation, qui n'altère en rien les propriétés du vin, ne tarda pas, malgré l'opposition puissante des préjugés, à entrer dans la pratique. Grâce à elle les débouchés pour le commerce du vin deviennent, peut-on dire, illimités, source d'une nouvelle richesse pour cette industrie. En 1867, à l'exposition universelle de Paris, Pasteur se vit décerner le Grand Prix pour ce procédé ingénieux et simple de conservation du vin.

Pour terminer ce paragraphe, il nous reste à exposer ses travaux sur la fermentation acétique et sur la fabrication de la bière.

Comme ses recherches l'avaient établi, la transformation du vin en vinaigre est l'œuvre d'un champignon spécial, le *mycoderma aceti*, qui en se développant à la surface du liquide produit de l'acide acétique en oxydant l'alcool. Une fois l'acétification obtenue, le mycoderme, s'il n'est pas submergé, continue son œuvre de combustion et dès lors sa puissance oxydante devient destructive. En effet, n'ayant plus d'alcool à transformer, il finit par brûler l'acide acétique et le décompose en eau et gaz carbonique. Pour parer à cette destruction il suffit de soumettre le vinaigre à la pasteurisation. Le ferment acétique et les autres ferments éventuellement contenus dans le liquide sont ainsi tués et la bonne conservation est assurée.

Quant à la fabrication de la bière, les résultats des recherches de Pasteur peuvent se résumer dans les trois grands principes qui forment actuellement les bases de cette industrie :

1° Toute altération, soit du moût qui sert à produire la bière, soit de la bière elle-même, résulte du développement d'organismes microscopiques, qui sont les ferments des maladies ;

2° Ces ferments sont apportés au liquide par l'air, par les matières premières ou par les appareils utilisés en brasserie ;

3° Toutes les fois que la bière ne contient pas de germes vivants, cause de maladies, elle est inaltérable.

En réglant la fabrication sur ces trois principes, on triomphait désormais aisément de toutes les incertitudes professionnelles et l'industrie française pouvait fabriquer de la bière aussi bonne que les produits allemands. La France put donc s'affranchir du tribut qu'elle payait à l'Allemagne par les importations de bière.

TRAVAUX SUR LA GÉNÉRATION SPONTANÉE

Vers l'année 1860 on ne croyait évidemment plus à la génération spontanée d'organismes relativement élevés tels que les vers, des mouches, des poux, etc., mais on l'admettait pour les êtres microscopiques qui apparaissaient en masse dans les eaux de pluie, dans les urines, ainsi que dans les infusions de matières organiques.

Cette question avait fait, au cours du siècle précédent, le sujet d'un débat important entre Needham et Spallanzani, le premier, défenseur des plus avisés de la génération spontanée, le second adversaire convaincu. La discussion entre ces deux savants resta indécise.

Le problème fut repris à l'époque de Pasteur, et l'Académie des sciences, à la suite d'un mémoire de Pouchet sur la génération spontanée, en fit une question de concours formulée en ces termes :

« Essayer par des expériences bien faites de jeter un jour nouveau sur la question des générations spontanées ».

Nous écrivons à dessein « repris », car durant les années qui séparent Spallanzani de Pasteur le problème était resté à l'ordre du jour et il avait notamment provoqué une expérience remarquable du professeur Schwann, que nous avons déjà cité à propos de ses études sur les fermentations.

Il chauffa dans un ballon un macéré de viande comme Spallanzani l'avait fait et après refroidissement y fit passer un courant d'air amené par un tube chauffé au rouge. Dans ce milieu éminemment putrescible, Schwann ne vit apparaître aucune espèce d'organismes microscopiques. Ces résultats lui permirent cette remarquable conclusion : « pour la fermentation alcoolique, comme pour la putréfaction, ce n'est pas l'oxygène, du moins l'oxygène seul de l'air atmosphérique, qui les occasionne, mais un principe renfermé dans l'air ordinaire et que la chaleur peut détruire ».

La haute signification de ces recherches resta totalement incomprise et elles ne constituèrent qu'une parenthèse dans l'histoire de la génération spontanée.

Les études sur les fermentations portaient Pasteur à ne pas croire à l'existence de ces générations spontanées. Il était convaincu de la spécificité des êtres microscopiques, et à son avis chaque fermentation était causée par un germe spécial. Si dans un milieu putrescible l'une ou l'autre altération ou fermentation se produisait, c'était parce que dans ce milieu le ferment avait été amené.

Afin d'élucider la provenance de ces germes, Pasteur s'appliqua à l'étude microscopique de l'air. Il eut l'idée de filtrer celui-ci à travers une petite bourre de coton obstruant le tube qui devait amener l'air au contact du liquide fermentescible. Malgré l'arrivée de l'air, ce liquide ne subit aucune altération, à condition, bien entendu,

qu'il ait subi au préalable la stérilisation par l'ébullition.

Dans une courte note adressée en février 1860 à l'Académie des sciences, Pasteur émit la conclusion que « gaz, fluides, électricité, magnétisme, ozone, choses connues ou choses occultes, il n'y a quoi que ce soit dans l'air, hormis les germes qu'il charrie, qui sont une condition de la vie ».

Que l'air contienne des germes, il n'y avait pas à en douter. Pour s'en convaincre, il suffisait d'examiner au microscope un peu de la bourre pour y découvrir au milieu de corpuscules inertes, des spores et des germes. En introduisant dans une infusion stérile une parcelle de la bourre, il provoquait régulièrement l'altération du liquide en question.

Ces conclusions étaient en contradiction avec le mémoire de l'académicien Pouchet, partisan convaincu de l'hétérogénie. Et c'est entre ce dernier, soutenu par deux autres hétérogénistes, et Pasteur que va se livrer le dernier débat cette fois au sujet de la génération spontanée.

Pasteur affirmait qu'il ne suffit nullement de laisser arriver de l'air au contact d'un liquide putrescible stérilisé, pour que celui-ci s'altère, mais qu'il y faut une quantité d'air susceptible d'amener au moins un germe.

Les hérétogénistes répliquaient d'un commun accord que l'air est toujours et partout fécond.

Afin d'établir leurs assertions, Pasteur d'un côté et les hétérogénistes de l'autre, se livraient à des expériences de contrôle multiples et variées.

Ils utilisaient de petits ballons contenant environ 250 centimètres cubes d'un liquide nutritif ; Pasteur se servait de l'eau de levure, Pouchet d'une macération de foin. Ils firent bouillir ce liquide et pendant l'ébullition ils fermèrent à la lampe le col effilé par où la vapeur s'était échappée entraînant avec elle l'air du ballon.

Pour étudier l'influence de l'air atmosphérique sur ce liquide dont on avait au préalable assuré la stérilité par quelques jours de conservation à l'étuve, ils brisaient

l'extrémité du col, y laissaient pénétrer l'air et refermaient immédiatement le ballon en scellant de nouveau à la lampe le col brisé. Dans les expériences de Pasteur, le résultat de ces essais variait suivant la teneur de l'air en microbes. Dans les endroits habités, où l'air contient habituellement beaucoup de germes, tous les ballons ouverts étaient ensemencés et montraient du développement organique, tandis que dans les endroits écartés des habitations et surtout sur les montagnes, où l'air est particulièrement exempt de microbes, la plupart des ballons, malgré la communication établie quelque temps avec l'air par l'ouverture du col étiré, restaient stériles.

Les hétérogénistes obtenaient dans les mêmes conditions partout du développement de vie et ils concluaient que l'air est partout propre à la production organique, soit qu'on le prélève surchargé de détritus au milieu des villes, soit qu'on le recueille au sommet des montagnes ou en pleine mer, où il est particulièrement pur.

L'Académie des sciences nomma en janvier 1864 une commission pour clore ce débat. Celui-ci se termina à l'avantage de Pasteur, les hétérogénistes refusant la discussion, pour ne pas être obligés d'avouer leur erreur.

Dans la suite, Pasteur put fournir l'explication des résultats obtenus par Pouchet et ses collaborateurs. Comme nous l'avons dit, ceux-ci utilisaient comme milieu de culture une décoction de foin. Or ce liquide contient des spores (formes de résistance des microbes), très robustes et pouvant parfaitement survivre à un chauffage à 100 degrés. Si elles ne se développaient pas dans les ballons fermés placés à l'étuve, c'est que l'air leur faisait défaut et le microbe en question *(bacillus subtilis)* étant strictement aérobie ne pouvait se multiplier dans ces conditions. Mais une fois les ballons ouverts pour y laisser pénétrer l'air, la décoction de foin devait toujours s'altérer, que l'air y eût ou non introduit des microbes. Le liquide de culture portait en soi des spores qui pou-

vaient désormais se développer et donner une culture de *bacillus subtilis*.

Pasteur dénomma les germes pour le développement desquels l'air est indispensable les microbes *aérobies*, par opposition aux germes *anaérobies* que lui avait fait découvrir l'étude de la fermentation butyrique.

TRAVAUX SUR LA MALADIE DES VERS A SOIE

Une épidémie ravageait l'industrie des vers à soie. Après une prospérité croissante de 1820 à 1853, la sériciculture s'effondrait. En deux ans le poids des cocons recueillis baissa des trois quarts, tombant de 26 000 000 kg. à 7 500 000. En 1865, année durant laquelle Pasteur fut chargé d'étudier la maladie, la récolte de tout le Midi de la France ne s'éleva pas à plus de 4 000 000 kg. de cocons, et la misère de ces départements devint affreuse.

Pasteur en arrivant dans le pays éprouvé, notamment à Alais, savait qu'un des symptômes de cette maladie était la production sur la peau des vers malades, de petites taches noires semblables à des grains de poivre. D'où le nom de *pébrine* donné à cette affection. Il ne tarda pas à trouver un rapport entre la pébrine et les corpuscules.

Par l'analyse microscopique des œufs, des vers, des chrysalides et des papillons, diverses phases de l'évolution de cet insecte, il put établir que ces corpuscules n'existent pas chez les vers sains et que les papillons sains fournissent des graines (œufs) saines. De ces graines sortent des vers qui élevés dans de bonnes conditions restent bien portants dans toute leur évolution.

Au contraire, quand les œufs mis en incubation contiennent des corpuscules, même très rares, ceux-ci se multiplient et les vers qui en proviennent sont d'autant plus malades qu'ils avancent en âge.

Restait à élucider le rôle des corpuscules. Étaient-ils la cause ou l'effet de la maladie ? Pasteur démontra qu'ils

en sont la cause, en observant que les vers sains se couvrent de corpuscules quand ils mangent des feuilles de mûrier contaminées elles-mêmes de corpuscules,

La pébrine des vers à soie rentrait donc dans le cadre des altérations qu'il avait étudiées dans les fermentations et pouvait dès lors être considérée comme une contamination infectieuse par le germe en question. Ces corpuscules étaient évidemment des êtres vivants, puisqu'ils se multipliaient. Nous savons aujourd'hui qu'ils sont des protozoaires appartenant au groupe des microsporidies.

La mission de Pasteur n'avait pas uniquement pour objet d'éclaircir la nature de la maladie, mais surtout de trouver le moyen de combattre cette épidémie désastreuse.

Pour réussir, il lui suffit d'appliquer les données de ses observations.

Avant de mettre de la graine (œufs) en réserve pour les éducations de l'année suivante, il fallait prendre la précaution d'examiner le papillon qui l'avait pondue : s'il n'était pas corpusculeux, la graine était bonne et donnerait un bon rendement de cocons ; s'il était atteint de pébrine, il fallait la détruire.

Pasteur ne contestait pas que les vers pouvaient s'infecter au cours de leur vie, mais il savait que cette contamination n'exerçait habituellement que peu d'influence sur la filature du cocon. Car, environ trente jours s'écoulaient entre le moment de la contamination et les manifestations graves de la pébrine. Or, depuis la sortie de l'œuf jusqu'à la filature du cocon, il ne s'écoule en moyenne pas plus de trente-cinq jours. Les vers sains contaminés au cours de leur évolution ont donc beaucoup de chance de monter à la bruyère pour filer leur cocon avant de succomber à la maladie.

Le succès de la sériciculture dépendait donc exclusivement du procédé de grainage. Il importait de ne conserver que les œufs (1) des papillons indemnes. Le contrôle

(1) Chaque papillon pond environ 700 à 800 œufs.

des papillons était simple : il suffisait de broyer l'insecte dans un mortier contenant quelques gouttes d'eau et d'examiner un peu de cette bouillie au microscope.

Grâce à cette méthode de grainage, la pébrine fut efficacement combattue en France et dans les autres pays séricicoles. En 1878, Pasteur reçut du Gouvernement autrichien le grand prix réservé depuis 1868 à celui qui découvrirait « un remède préventif et curatif de la pébrine ».

TRAVAUX SUR LE CHARBON ET LA VACCINATION ANTICHARBONNEUSE

Par ses recherches antérieures, Pasteur était tout préparé pour élucider la pathogénie des affections contagieuses. Tout comme le vin, le vinaigre, la bière, et les vers à soie subissaient des altérations ou maladies quand ils étaient envahis par certains germes ; ainsi l'organisme devenait malade quand il se laissait pénétrer et envahir par des microbes pathogènes.

Nous indiquerons dans un paragraphe spécial la répercussion des travaux et des découvertes de Pasteur sur les progrès en chirurgie et en prophylaxie ; ici nous nous limiterons à l'exposé de ses remarquables recherches sur la vaccination anticharbonneuse.

Le charbon bactéridien est une maladie endémique, c'est-à-dire répandue surtout en certaines régions. Dans plusieurs départements de la France, notamment dans la Champagne, la Bourgogne, la Beauce, la Brie, etc., il existait des prairies appelées les champs maudits. Les animaux qui y paissaient l'herbe, mouraient tous les ans en tel nombre que beaucoup de fermes de ces régions ne trouvaient que difficilement des exploitants.

Tous les animaux domestiques, hormis les oiseaux, étaient susceptibles de la maladie et pouvaient y succomber en quelques heures. A l'autopsie, on pouvait remarquer que le sang était devenu épais, visqueux et noir comme

du charbon, que la rate était grossie et de consistance bouense.

Du temps de Pasteur, l'étiologie de cette affection était en partie élucidée. Déjà en 1850, Rayer et Davaine avaient vu dans le sang d'animaux morts du « charbon » « de petits corps filiformes » ; mais, ce ne fut que onze ans plus tard que Davaine considéra ce bâtonnet comme l'agent de la maladie. Ce furent d'ailleurs les travaux de Pasteur qui l'amenaient à cette conception. En effet, en 1861, Pasteur avait montré que l'agent de la fermentation butyrique n'était pas une matière albuminoïde en voie de décomposition, mais un organisme vivant semblable à un bâtonnet. Cette découverte fit réfléchir Davaine sur l'observation faite par lui et son maître Rayer. Il lui sembla que les bâtonnets constatés dans le sang charbonneux pouvaient être la cause de l'altération charbonneuse du sang.

En inoculant du sang charbonneux à des animaux sains, il put constater que les bâtonnets se montraient dans le sang de l'animal inoculé et s'y multipliaient au point d'altérer tout le sang et de tuer l'animal.

A cette époque, on était loin de soupçonner que ces infiniment petits pussent jouer un rôle quelconque dans l'étiologie de ces affections ; l'idée de Davaine ne fut guère admise.

En injectant du sang charbonneux, lui objecta-t-on, vous inoculez assurément des bactéridies, mais vous inoculez en même temps tout autre chose et notamment du sang décomposé ; rien ne prouve que l'agent du charbon ne s'y trouve pas.

Ajoutons que certains expérimentateurs, entre autres Faillard et Leplat, n'avaient pu répéter les expériences de Davaine. Ils avaient inoculé du sang charbonneux à des lapins et ceux-ci étaient morts sans présenter de bactéridies dans le sang.

Pasteur put établir l'exactitude de l'opinion de Davaine.

En effet, en semant une gouttelette du sang charbonneux dans de l'urine stérilisée neutre, il constata que les bâtonnets s'y cultivaient abondamment. Prélevant une gouttelette de cette première culture, il ensemença un second ballon, et obtint le même développement. Cette expérience se répétait avec le même résultat dans chaque nouvel ensemencement. En introduisant une trace d'une de ces cultures sous la peau d'un lapin ou d'un cobaye, il leur communiqua un charbon mortel.

Par cette expérience Pasteur démontrait que les bacilles ou bactéridies du charbon sont l'agent pathogène de la maladie. Car les matières organiques inanimées, contenues dans la gouttelette de sang de la première semence, subissent au cours des ensemencements successifs, une dilution telle qu'il n'est plus possible d'admettre encore leur influence sur la genèse de la maladie.

La première objection dressée contre la théorie de Davaine était ainsi réfutée. Restait à interpréter les constatations de Faillard et de Leplat, notamment la mort des animaux inoculés avec du sang charbonneux sans que leur sang trahît la présence des bactéridies.

Pasteur expliqua le fait, en démontrant que dans ces cas on avait inoculé du sang charbonneux contaminé de vibrions septiques et que ces derniers microbes faisaient périr les animaux avant que la septicémie bactérienne eût pu se produire.

L'étiologie établie, il fallait encore expliquer l'endémicité de ce fléau et trouver une méthode pour la combattre.

Le ministre d'agriculture, connaissant les services que Pasteur avait rendus déjà aux diverses industries, prévint un vœu du conseil général d'Eure-et-Loir et chargea le savant « d'étudier les causes du charbon dit spontané et de rechercher les moyens préventifs et curatifs qui pouvaient s'opposer au mal ».

Pasteur expliqua l'endémicité du charbon : la terre des départements infestés était contaminée par des spores

spécifiques provenant des cadavres charbonneux enfouis dans le sol. De la profondeur des fosses ces spores pouvaient être ramenées à la surface par les vers de terre et se trouver ainsi à la portée des animaux broutant l'herbe.

Ces spores ne déterminent toutefois pas l'infection charbonneuse, tant qu'elles restent dans les organes de digestion. Leur pénétration dans l'organisme doit être rendue possible par une lésion du tube digestif. De semblables lésions peuvent se produire quand l'animal en broutant absorbe des chardons, des épis d'orge ou d'autres matières blessantes.

Quant à la prophylaxie du charbon, elle consistait dans la vaccination préventive du bétail.

Pour expliquer aisément les mémorables expériences de Pasteur concernant cette immunisation, nous devons ouvrir ici une parenthèse et résumer ses recherches sur une autre épizootie, le choléra des poules.

Cette affection bien connue, qui occasionne encore fréquemment de grands ravages dans les basses-cours, peut atteindre toutes les volailles, poules, dindons, oies, canards, etc. En réalité, elle ne présente rien de commun avec le choléra asiatique, mais une analogie de symptômes, la diarrhée, et l'extrême contagiosité, lui ont fait attribuer la dénomination de choléra. Les poules y succombant ordinairement en plus grand nombre, le nom de choléra des poules est devenu usuel.

L'agent causal de cette épizootie, entrevu en 1878 par Perroncito, avait été mieux décrit l'année suivante par Toussaint.

En 1880, Pasteur étudia dans les moindres détails l'étiologie de cette maladie et l'expliqua d'une façon remarquable. Cette étude le conduisit à ses premières constatations relatives à l'atténuation des microbes.

Le milieu le plus favorable au développement de ce microbe était le bouillon de muscles de poule neutralisé par la potasse et stérilisé par un chauffage à 110° à 115°.

La virulence de ces cultures était telle qu'il suffisait d'en injecter aux poules une dose infinitésimale pour leur faire contracter la maladie et les tuer. Un hasard mit Pasteur sur la voie d'une très importante découverte. Tant qu'on avait régulièrement repiqué, de vingt-quatre heures en vingt-quatre heures, les cultures du choléra des poules, le microbe était resté très virulent. Mais un jour, en utilisant pour l'inoculation des animaux une culture datant de quelques semaines, Pasteur constata que ceux-ci contractaient encore la maladie mais ne succombaient plus au mal. Et, chose du plus grand intérêt pratique, les poules ayant subi cette inoculation de culture vieillie étaient devenues réfractaires à l'inoculation de cultures régulièrement repiquées (virulentes) comme elles étaient devenues résistantes à la contagion naturelle : elles étaient immunisées.

Immédiatement Pasteur se mit à l'œuvre pour obtenir le même résultat avec le charbon.

En maintenant à l'étuve une culture de choléra des poules pendant un temps suffisamment long, il avait observé que sous l'influence du contact de l'air, la virulence de ce microbe s'atténue progressivement et qu'il arrive un moment où ces microbes sont devenus totalement avirulents et qu'ils ne tuent plus les animaux inoculés.

Naturellement, il chercha à obtenir le même résultat avec les cultures de charbon, mais il se heurta ici à une difficulté qui rendit l'atténuation impossible. Au bout de quelques heures de séjour à l'étuve, les bacilles du charbon sporulent, c'est-à-dire qu'une partie de leur protoplasme, pour se soustraire aux influences nuisibles, passe tout en se densifiant de la vie végétative à la vie latente et ne subit plus aucune atténuation.

Il fallait donc obtenir des cultures ne sporulant pas. Pasteur y réussit par un artifice très habile. Il suffit en effet de cultiver la bactéridie charbonneuse à la température de 42° à 43° : dans ces conditions, les bacilles se reproduisent encore, mais sans former de spores.

En examinant la virulence de ces cultures après un séjour plus ou moins prolongé à l'étuve, Pasteur constata le même phénomène que pour le choléra des poules : celles qui avaient séjourné une quinzaine de jours à 42° étaient devenues totalement avirulentes et ne tuaient même plus des animaux aussi réceptifs que les cobayes ; celles qui y étaient restées un peu moins longtemps, ne communiquaient aux animaux qu'une maladie bénigne, qui les préservait contre l'épreuve avec des cultures virulentes.

En semant les bactéridies ainsi atténuées et en les laissant se développer dans du bouillon à 37°, elles forment de nouveau des spores et celles-ci fixent cette virulence atténuée. Il est dès lors aisé de reproduire des cultures atténuées au degré voulu : il suffit à cet effet d'ensemencer des ballons de bouillon avec les spores provenant des cultures atténuées à ce degré.

Pasteur utilisa deux vaccins, le premier constitué de cultures atténuées au point d'être totalement inoffensives et le second un peu plus virulent et capable de tuer encore les petits animaux de laboratoire.

Les expériences de vaccination préventive ayant donné un résultat tout à fait concluant dans les essais de laboratoire, il fallait connaître leur portée pratique.

Cette occasion ne se fit pas longtemps attendre. M. Rossignol, vétérinaire à Melun, était parvenu à intéresser à cet essai la Société d'agriculture locale. Dans la ferme de Rossignol à Pouilly-le-fort (près de Melun), cette société mit à la disposition le nombre voulu d'animaux pour instituer une expérience publique.

Soixante moutons devaient y servir : dix ne recevraient aucun traitement, vingt-cinq subiraient la vaccination et seraient inoculés quelques jours après la seconde injection de vaccin avec du charbon virulent, en même temps que vingt-cinq autres moutons témoins.

D'après les prévisions de Pasteur « les vingt-cinq moutons non vaccinés périront tous, les 25 vaccinés résisteront et on les comparera ultérieurement avec les dix moutons réservés ci-dessus, afin de démontrer que les vaccinations n'empêchent pas les moutons de revenir à leur état normal ».

L'expérience commença le 5 mai 1882. Le 31 du même mois, après les deux injections de vaccin le 5 et le 17, sur les animaux prévus, on inocula aux animaux vaccinés ainsi qu'aux 25 non vaccinés la dose d'épreuve de culture virulente.

Rendez-vous fut fixé au surlendemain pour le contrôle du résultat.

Quand Pasteur accompagné de ses élèves Chamberland, Roux et Thuillier arriva le 2 juin dans la cour de la ferme de Pouilly-le-fort, des acclamations le saluèrent : vingt-deux moutons non vaccinés étaient morts, deux étaient mourants et le dernier haletant offrait déjà les signes caractéristiques de l'infection charbonneuse. Tous les moutons vaccinés étaient en bonne santé.

On ne pouvait évidemment pas espérer plus beau résultat et tous les fermiers et éleveurs témoins nombreux de cette expérience étaient enthousiasmés de ce succès et des conséquences de cette découverte.

L'expérience publique de Pasteur eut un retentissement prodigieux et en peu d'années sa méthode de vaccination fut appliquée avec fruit dans tous les pays de l'Europe. Elle permit de sauver pour des millions de francs de bétail (jusque vingt millions par an, pour la France seule).

Le Gouvernement de la République offrit à Pasteur le grand cordon de la Légion d'honneur. Il ne voulut accepter cette distinction qu'à condition que ses deux collaborateurs, Chamberland et Roux, fussent également décorés. La chose ne créait aucune difficulté, étant donné leur mérite.

Pour terminer ce paragraphe, nous dirons que pendant

ses recherches sur la vaccination anticharbonneuse, Pasteur avait été amené à examiner une autre épizootie, le rouget du porc. En 1882, avec Thuillier il en décrivit le microbe et indiqua peu après une méthode de vaccination préventive tout à fait pareille à celle du charbon.

TRAVAUX SUR LA RAGE

Pasteur aborda l'étude de la rage en 1880 avec l'idée directrice de l'existence d'un microbe ou d'un virus apte à subir une atténuation comparable à celle qu'il avait obtenue pour les bacilles du charbon, du choléra des poules et du rouget du porc.

Il inocula des lapins par voie sous-cutanée avec de la salive d'animaux rabiques. Les résultats de ces essais furent très irréguliers : tantôt les animaux ne présentèrent aucun trouble, tantôt ils succombèrent plus ou moins rapidement à la septicémie pneumococcique (microbe normalement contenu dans la salive), tantôt ils contractèrent la rage après une période d'incubation très longue.

Afin d'obtenir des résultats plus réguliers, Pasteur imagina ensuite d'inoculer directement la substance cérébrale d'animaux rabiques, par voie intracrânienne. Au bout de quinze jours à trois semaines, la rage éclata régulièrement chez les animaux inoculés. A peine un animal venait-il de succomber à la rage que l'on injectait un peu de sa moelle à un autre lapin.

A mesure que ces inoculations se succédaient, Pasteur pouvait constater que la période d'incubation (durée s'écoulant entre le moment de l'inoculation et la date de l'apparition des signes de la rage) devenait de plus en plus courte, jusqu'à ne plus dépasser finalement les 7 jours. Le virus arrivé à ce degré de virulence fut désigné « virus fixe » pour indiquer qu'il n'était plus possible d'augmenter sa virulence par des inoculations ultérieures.

Afin de se procurer le matériel pour les essais de vaccination, il fallait tâcher d'atténuer cette virulence.

Le germe de la rage ne se cultivant dans aucun milieu, Pasteur utilisa pour l'atténuation les moelles de lapins venant de succomber à la rage. Il fit suspendre celles-ci dans des flacons hermétiques dont l'air était maintenu sec par des fragments de potasse caustique placés au fond. A mesure que la moelle subissait la dessiccation, elle perdait de sa virulence ou du moins elle devenait de moins en moins apte à transmettre la maladie aux animaux inoculés. Au bout d'une quinzaine de jours de dessiccation, elle était absolument inoffensive.

Pour vacciner les animaux, Pasteur les inoculait tous les jours, la première fois d'un peu d'extrait de moelle avirulente (dans de l'eau physiologique), le lendemain de la moelle rabique desséchée depuis 13 jours, le surlendemain de la moelle desséchée depuis 12 jours et ainsi de suite jusqu'à leur inoculer finalement de la moelle fraîche.

Chose remarquable, les chiens qui avaient subi cette série d'inoculations, pouvaient être mordus par des chiens enragés ou subir des inoculations intracrâniennes de moelle de chiens rabiques (virus des rues), sans contracter le moindre symptôme de rage.

De cette découverte, Pasteur entrevit aussitôt une meilleure application : la médecine humaine pouvait profiter de la longue durée d'incubation de la rage pour établir durant ce laps de temps, avant l'apparition des manifestations rabiques, le degré voulu d'immunité pour résister à la maladie.

Avant de traiter ainsi l'homme, il fallait évidemment par des expériences sur les animaux (chiens) démontrer que cette série d'inoculations pouvait prévenir la rage chez les chiens dangereusement mordus depuis quelques jours. Ces expériences répétées un grand nombre de fois établirent définitivement l'efficacité de la nouvelle vaccination préventive.

Le 6 juillet 1885, Pasteur vit amener dans son laboratoire un petit Alsacien, âgé de 9 ans, Joseph Meister,

mordu l'avant-veille par un chien reconnu enragé. A la vue des multiples blessures du petit, Pasteur ne put se décider ; il demanda l'avis de Grancher et de Vulpian. Sans hésitation ceux-ci affirmèrent que les expériences sur les chiens avaient été assez démonstratives et concluantes pour tenter la vaccination préventive chez le petit Alsacien.

Le jour même le traitement fut commencé et les inoculations se répétèrent tous les jours jusqu'à ce qu'on lui eût injecté du virus non atténué. Le résultat fut pareil à celui des nombreuses expériences sur les animaux : le jeune garçon resta indemne de la maladie.

Pasteur communiqua cette remarquable découverte à l'Académie des sciences dans une séance du mois d'octobre et il termina son exposé en annonçant qu'il venait de soumettre au même traitement une autre personne mordue. En voici l'histoire rapportée par Vallery-Radot :

« Six petits bergers gardaient leurs troupeaux dans un pré. Tout à coup ils virent sur la route un chien de forte taille qui passait, la gueule pleine de bave. « Un chien fou ! », s'écrièrent-ils, le mot fou étant pour eux synonyme d'enragé. A leur vue l'animal quitte la route pour se précipiter sur eux. La bande des enfants se sauve poussant des cris. Le plus âgé qui était dans sa quinzième année, J.-B. Jupille, voulut protéger la fuite de ses camarades. Armé de son fouet, il marche droit sur l'animal. D'un bond le chien se jette sur Jupille et lui mord la main gauche. Une lutte s'engage, Jupille terrasse le chien. Puis de la main droite il lui ouvre la gueule pour dégager sa main gauche toujours serrée comme dans un étau. Il y parvient, mais sa main droite reçoit à son tour de graves morsures. Il lutte encore. Il saisit le chien par le cou. Pendant le combat, son fouet est tombé. Il appelle son petit frère qui revient sur ses pas, ramasse et apporte le

fouet. De la lanière Jupille lie la gueule du chien. Prenant alors son sabot, il frappe et assomme l'animal » (1).

Jupille fut soumis aux inoculations préventives six jours après avoir été mordu et resta également indemne.

A partir de ce moment, les mordus affluent chez Pasteur des divers départements de la France, et des autres pays de l'Europe. En moins de six mois, il avait l'occasion d'appliquer sa méthode dans 350 cas. Une seule victime succomba à la rage : une petite fille soumise au traitement 37 jours après la morsure.

Le traitement préventif de la rage était trouvé. Cette découverte sans pareille tant au point de vue humanitaire qu'au point de vue de la science entraînait la nécessité de créer un office vaccinal contre la rage. Telle fut l'origine de l'Institut Pasteur de Paris.

RÉPERCUSSION DE SES TRAVAUX SUR LA CHIRURGIE

Les découvertes de Pasteur sur la génération spontanée, sur l'étiologie des maladies contagieuses, sur les vaccinations préventives furent pour la médecine et la chirurgie non pas un progrès normal, mais une véritable révolution. Aussi devaient-elles les modifier profondément. Ce fut au début la chirurgie qui en profita surtout.

Lister fut le premier à saisir toute la portée des travaux de Pasteur et à conformer sa technique opératoire à leurs indications. Au lieu de considérer, à l'exemple des disciples de l'école de Broussais, l'inflammation comme nécessaire et utile à la guérison, il s'efforça d'empêcher l'inflammation en s'opposant au développement des microbes par l'emploi d'antiseptiques. Grâce à cette pratique, la mortalité se réduisit chez les opérés dans une forte proportion et beaucoup d'opérations fatales jusque-là furent exécutées désormais avec succès.

(1) Dans le jardin de l'Institut Pasteur de Paris, une statue représente le jeune berger terrassant le chien enragé.

Mais la chirurgie fut, on peut le dire, transformée, quand à l'*antisepsie* succéda l'*asepsie*, c'est-à-dire quand le chirurgien s'efforça de prévenir l'infection ou la contamination des plaies et des incisions du champ opératoire. A partir de ce moment, en médecine aussi bien qu'en chirurgie, la spontanéité des maladies et des infections chirurgicales avait fait son temps. Cette conception ancienne, avec toutes les opinions néfastes qu'elle avait engendrées, fut définitivement abandonnée pour les théories modernes de l'origine microbienne des maladies contagieuses et des suppurations chirurgicales.

TRAVAUX DES ÉLÈVES DE PASTEUR

Nous nous contenterons de citer ici les travaux de ceux qui ont travaillé sous la direction immédiate de Pasteur.

S'il fallait envisager également l'œuvre accomplie par tous les savants qui ont bénéficié de l'école de Pasteur, il faudrait entamer l'un après l'autre tous les chapitres de la bactériologie et de l'immunité.

La science doit aux élèves de Pasteur la découverte du bacille de la peste (Yersin), du phénomène de la phagocytose (Metschnikoff) et du sérum antidiphtérique (Roux).

La diphtérie, avant l'ère de la sérothérapie, était très meurtrière.Pour montrer toute la gravité de ces épidémies, citons un passage d'une lettre qu'une mère éplorée adressa à Pasteur déjà malade et malheureusement incapable d'y répondre :

« Vous avez fait tout le bien qu'un homme puisse faire sur la terre. Si vous le voulez, vous trouverez sûrement le remède à l'horrible mal qui s'appelle la diphtérie. Nos enfants, à qui nous apprenons votre nom comme celui d'un grand bienfaiteur, vous devront de continuer leur vie » (Vallery-Radot).

Le docteur Roux s'attacha à cette question. Il put établir que le bacille de la diphtérie, en se développant

dans les fausses membranes, sécrète une toxine qui par résorption produit l'empoisonnement de l'organisme ; cette toxine injectée à des animaux, à des doses progressivement croissantes, crée chez ceux-ci l'immunité et confère à leur sérum la propriété de neutraliser cette toxine. Ces constatations étaient la base de la sérothérapie moderne et, dès l'année 1894, l'Institut Pasteur mit dans le commerce le sérum antidiphtérique, le sérum qui a sauvé et sauvera encore tant d'existences.

Les découvertes de Pasteur ont éclairé d'un jour nouveau l'obscure question des fermentations ; elles ont solutionné le problème de la génération spontanée et ont puissamment contribué au relèvement de plusieurs branches de l'industrie et de l'agriculture.

La portée économique de ces découvertes fut telle qu'un grand physiologiste anglais, dans une leçon publique de la Société royale de Londres, alla jusqu'à prétendre que « les découvertes de Pasteur suffiraient à elles seules pour couvrir la rançon de guerre de cinq milliards payés par la France à l'Allemagne ».

A ce capital industriel s'ajoute encore la valeur inappréciable des vies humaines sauvées par les progrès de la chirurgie, par les vaccinations antirabiques, par la sérothérapie antidiphtérique.

Louis Pasteur fit de son remarquable génie un noble emploi ; ses convictions chrétiennes le guidèrent et le soutinrent dans un labeur fécond qui l'élève au rang des grands bienfaiteurs de l'humanité.

R. Bruynoghe,
Professeur à l'Université,
Directeur de l'Institut bactériologique
de Louvain.

———————

LE

CALCUL DES PROBABILITÉS

Le Calcul des Probabilités est la science qui a pour objet de mesurer les chances d'arrivée des événements dus au hasard.

Au XVIIe siècle, qui fut le siècle de sa naissance, on l'appelait aussi la Doctrine des Hasards, ou la Théorie des Chances.

Le Calcul des Probabilités est l'une des branches les plus attrayantes des Mathématiques et les plus fécondes en applications, mais aussi, selon la remarque déjà de Daniel Bernoulli, l'une des branches les plus épineuses (1).

Bon nombre de géomètres, et des plus grands, ont consacré leurs veilles à ce haut Calcul. Ils y ont vu plus qu'un pur exercice d'Arithmétique ou d'Analyse, ou qu'un simple stimulant de l'esprit d'invention en Mathématiques ; ils ont, de bonne heure, égalé le mérite des belles et subtiles investigations de cette science neuve au mérite immortel des antiques et profondes recherches de Diophante (2). Méditée par eux, la Théorie des Probabilités a ouvert la voie à d'importants progrès de l'Analyse pure et a rendu aux sciences d'observation, — notamment aux sciences physiques, aux sciences biologiques, aux sciences économiques, — des services inappréciables. Les applications les plus connues du Calcul des Probabilités

(1) Facile videbis hunc Calculum esse saepé non minus nodosum quam jucundum.

(2) Huygens, Préface de son *De Ratiociniis in Ludo Aleae*, 1657.

ont pour objets la Théorie des Jeux de hasard, les Statistiques de toute nature, les Opérations financières de toute espèce, en matière surtout de rentes viagères et d'assurances de tout genre ; la Théorie des Moyennes et la Théorie des Erreurs ; c'est par ces deux dernières théories que le Calcul des Probabilités joue en Physique, en Astronomie et en Balistique, pour ne nommer que ces trois sciences, un rôle dont l'importance croît singulièrement de jour en jour.

On doit savoir gré à M. Solovine, le savant fondateur de la Collection *Les Maîtres de la Pensée scientifique*, de l'heureuse idée qu'il a eue d'enrichir sans retard sa Collection naissante et déjà si utile d'un livre infiniment précieux, l'*Essai philosophique sur le Calcul des Probabilités* de Laplace (1), que l'illustre auteur écrivit en faveur des lecteurs étrangers à la haute Analyse et publia en 1814. En dépit des corrections qu'y dictent en maints endroits les progrès accomplis depuis cent et dix ans par les sciences et par la pensée philosophique, ce petit ouvrage reste, après plus d'un siècle, digne d'être relu et même, en de fréquentes pages, médité. Notre intention n'est pas de refaire l'analyse ou la critique du célèbre *Essai*, moins encore de le louer sans réserve. La première des réserves que nous exprimerions, est que Laplace, en nous exposant les principes d'une philosophie un peu trop sûre d'elle-même (le jugement est de Jules Tannery), nous paraît froisser trop facilement la Philosophie catholique. Quoi qu'il en soit de ces réserves, nous saluons volontiers cette réédition d'un livre qui instruit excellemment et qui, surtout, comme cela convient à un livre scientifique, apprend à réfléchir. Nous reparlerons plus loin, avant de clore les présentes pages, de cette œuvre

(1) *Essai philosophique sur les Probabilités*, par Pierre-Simon Laplace. — Deux vol. de XI-103 et 108 pages. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. — Collection « Les Maîtres de la Pensée scientifique », publiée par Maurice Solovine.

où Laplace a exposé ses doctrines sur l'un des sujets préférés de sa pensée.

Le petit ouvrage de Laplace se termine par une notice historique sur le Calcul des Probabilités. Il prend cette science à partir de l'époque de Pascal et de Fermat, c'est-à-dire de l'époque même de sa fondation. Plusieurs lecteurs de cette Revue s'intéresseront peut-être aux quelques notes historiques que nous allons consigner ici sur ce même sujet. Nous nous permettrons de nous attarder à la préhistoire du Calcul des Probabilités. Laplace n'en a point parlé, et il a eu raison : ces premières lueurs d'une science dont le crépuscule dura bien des siècles, n'appartiennent point à proprement parler à l'histoire de cette science. Cependant on peut aimer de suivre les tâtonnements de l'esprit humain à la recherche du merveilleux instrument scientifique qu'il était réservé à Pascal et à Fermat de lui apporter.

Les origines du Calcul des Probabilités se perdent dans la nuit des siècles. De tout temps a sévi la passion de conjecturer les événements de l'avenir, comme si l'homme, observe le sage Salomon, n'avait pas déjà grand'peine à connaître les événements du passé. On peut dire que les origines de ce Calcul, au sens littéral de ce mot — le Calcul arithmétique des chances des événements futurs — se confondent avec les origines des jeux de hasard.

Pour quiconque, en effet, veut étudier les caractères et découvrir les lois des événements fortuits, il y a un champ d'expériences tout préparé, qui s'offre de lui-même, et d'expériences, si l'on veut, peu coûteuses : ce sont les « jeux de hasard ». Le roi des jeux de hasard, peut-être le plus vénérable de tous par son ancienneté et certainement le plus cher aux Mathématiciens à cause de sa simplicité parfaite, est bien le jeu de *pile ou face*, ou, comme nos ancêtres disaient aussi, de croix ou pile (1). Le

(1) Le problème de *pile ou face*, — ou de *croix ou pile*, comme on disait encore au temps de Laplace, — c'est-à-dire le pari d'amener

jeu de rouge ou noir, à la roulette, et le jeu de pair ou impair, sont ses équivalents, nous allions dire ses synonymes. Un peu moins simple est le jeu de dés, ordinairement de dés à six faces : la pièce de monnaie, à pile ou face, n'est qu'un dé à deux faces, et à son tour le dé à six faces sert on ne peut mieux au jeu de pair ou impair. Vient enfin le jeu de cartes. J'oubliais le tirage au sort, sous ses mille formes. Chacun de ces jeux se prête aux observations les plus élémentaires et les plus simples et aux combinaisons les plus compliquées.

Les archéologues, gens patients, ont fouillé les recoins les plus reculés de l'histoire, pour fixer les dates des apparitions premières de ces jeux. Le jeu de cartes ne leur semble pas d'âge fort ancien. L'Occident latin ne paraît l'avoir reçu de l'Orient arabe qu'au XIVe siècle. Il ne faut attacher de valeur ni au 38e canon du Concile de Worcester de 1240, ni à un document anglais du temps d'Édouard I (1278) ; car il n'est question en ce canon et en ce document que de jeux tout autres. Mais voici qu'en notre propre pays, à la date du 14 mai 1379, on lit dans le Livre de comptes de la duchesse Jeanne de Brabant et de son époux Wenceslas de Luxembourg cette mention : « Versé » 4 peters et 2 florins, la valeur de 8 moutons et demi, » pour acheter un jeu de cartes (*quartspel met de copen*). » Tandis que, dans nos Pays-Bas (1), on se délassait déjà

pile (ou face) au premier coup, est bien le problème le plus élémentaire. On suppose la pièce parfaitement homogène et rigoureusement symétrique. La probabilité est $p = 1/2$, c'est-à-dire qu'il y a un cas favorable sur deux cas possibles, les deux côtés étant supposés se présenter avec une *égale facilité*. Le problème se complique, si l'on parie, par exemple, d'amener *pile* constamment aux 2, 3, 4, ..., premiers coups, ou encore de l'amener au moins une fois dès les 2, 3, 4, ..., premiers coups : les probabilités sont alors 1/4, 1/8, 1/16, ... dans le premier cas, et 3/4, 7/8, 15/16, ..., dans le second. Le jeu de pile ou face se prête à des problèmes si complexes qu'ils exigent souvent des calculs ardus et parfois sont même insolubles.

(1) Les peters, les florins et les moutons d'or étaient nos monnaies de ce temps. Les cartes étaient coûteuses, surtout celles qui, des-

couramment aux cartes à la cour de nos bons Ducs, l'Italie plus tardive recevait à peine son premier jeu de cartes, des mains de ces mêmes Sarrasins qui avaient fait peut-être aux Belges ce même cadeau auparavant. La ville de Viterbe conserve, en effet, en ses archives la date, inscrite dans la chronique d'un témoin oculaire, de cet événement mémorable : « En l'an 1379 fut introduit » à Viterbe le jeu des cartes, qui vint du pays des Sarrasins » et est appelé chez eux *Naïb* » (1). — Les Sarrasins

tinées à la Cour, étaient rehaussées d'or et artistement enluminées. Le payement considérable du 14 mai 1379, — « Versé à Monseigneur et à Madame 4 peters... » — paraît indiquer que ce jeu était déjà très en usage à la Cour à cette date ou que ces cartes étaient réservées à de très hauts personnages. Un manuscrit du British Museum (Egerton, 2, 419) mentionne que le jeu de cartes était connu en Allemagne en 1377. Or, en cette année 1377, se fit à Louvain, au manoir de nos ducs, au Borchberg (le Mont-César, de son nom actuel), la réception de l'empereur Charles IV, frère de notre duc, et de son fils Wenceslas, roi des Romains. Les hôtes allemands firent-ils connaître à nos princes le jeu nouveau, ou plutôt nos princes tinrent-ils à offrir à leurs visiteurs impériaux cet « esbattement » ? Nous l'ignorons. Le versement du 14 mai 1379 semble se rapporter aux frais de la réception impériale. les séditions des métiers de Louvain en 1378 ayant dû retarder les règlements des comptes. Le manoir où se fit cette réception de 1377 et qui plus tard s'appela le château du Mont-César, en souvenir de Charles-Quint, dont il abrita la jeunesse, avait été restauré en 1375 par la Ville de Louvain, pour engager nos ducs à ne plus préférer habituellement leur palais de Bruxelles ou leur résidence de Tervueren. Ce fut donc à Louvain, au Mont-César, que se manifesta pour la première fois en nos pays, autant que les documents en font mention, la passion innocente, mais déjà coûteuse, du jeu de cartes.

(1) *Istoria della città di Viterbo*, de Feliciano Bussi, Rome, 1742, in-fol. Le renseignement provient de la Chronique de Nicolas de Covelluzzo, de Viterbe, qui fut le contemporain et peut-être le témoin oculaire de l'introduction des cartes en cette ville. On sait que le P. Ménestrier, *Bibliothèque curieuse et instructive*, Trévoux, 1704, t. II, p. 173, fit connaître le témoignage du Registre de la Chambre des Comptes, relatant en 1392 le payement de 56 sols parisis par l'argentier de Charles VI, au peintre Gringonneur, pour trois jeux de cartes à or et couleurs et à devises. Quant aux Hindous, les cartes leur plaisaient fort et les jeux étaient très variés ; le *gheudgifeh* se composait de 96 cartes, ou huit séries de 12 cartes : chaque série offrait deux figures, le *roi* et le *vizir (na-ceb*, vice-roi),

avaient reçu le jeu de cartes des Hindous, et ceux-ci l'avaient inventé peu de siècles auparavant, en même temps peut-être qu'ils inventaient le jeu des échecs : le génie de cette race est ami de l'Arithmétique et des combinaisons et ami des jeux allégoriques du jeu de la guerre.

Plus antiques sont les jeux de dés. En Égypte, les momies endormies conservent jalousement, enserrées entre les bandelettes qui enlacent leurs mains décharnées, les dés qu'elles ont emportés en souvenir des jeux de la vie terrestre ou en prévision des jeux de la vie d'outre-tombe. Les Hindous raffolaient des dés, autant que les Égyptiens : le *Rig Véda* l'atteste. Chez les Grecs de l'ère homérique, on voit à la porte du palais d'Ulysse les prétendants s'asseoir sur des peaux de bœuf, et jouer au jeu de dés, inventé, dit-on, par Palamède (1). Les Grecs conserveront cette passion à travers les âges : ils jouaient en lançant trois dés à la fois, et comme de bonne heure il y eut des Grecs d'une loyauté douteuse, les plus prudents inventèrent le cornet (*turricula*, dirent les Romains), pour agiter les dés, et en munirent l'intérieur d'échelons pour mieux déconcerter le tricheur ; leurs dés étaient cubiques, identiques aux nôtres. Les Romains avaient des *tali*, qui étaient des osselets ou astragales, à quatre faces numérotées, et des *tesserae*, cubes à six faces, comme nos dés actuels : les soldats romains ne tirèrent-ils point au sort la robe du Sauveur ? — Les Germains, au témoignage de Tacite, jouaient aux dés avec fureur.

et dix cartes de points, de 1 à 10. Le jeu des échecs (du mot *schâh*, le roi), que les Sarrasins transmirent des Hindous aux Chrétiens d'Occident, de meilleure heure encore, semble-t-il, que les cartes, offrait souvent quatre rois et quatre armées, au lieu de nos deux rois et de nos deux camps, et se jouait entre quatre personnes, chaque joueur manœuvrant une des quatre armées ; le jeu de l'*hombre*, cher aux Espagnols, est une reproduction de ce jeu hindou. En Italie, les cartes s'appelaient *naïbi*, et en Espagne elles ont conservé le nom de *naipes* : ces deux noms sont d'une saveur bien orientale.

(1) *Odyssée*, Chant I, vers 107.

Au travers de ces passions du jeu, le Calcul des Probabilités naissait, mais sa croissance fut lente et tourmentée. Du reste, le plus ancien jeu de hasard et qui devait faire naître de bonne heure la Théorie des Chances, fut peut-être le jeu de pile ou face. Nous ignorons si quelque archéologue a fixé dans l'Histoire la date — antérieure même au roi Crésus, et Dieu sait de combien de siècles — de l'apparition de la première pièce poinçonnée de monnaie métallique (1). Le jour où apparut cette première pièce ou n'importe quel jeton analogue, plus d'un sans doute, pour peu que la pièce ou le jeton fussent plats, s'avisa de les jeter en l'air et de parier pile ou face : le plus simple des problèmes de Probabilités, mais non le moins fécond en combinaisons passionnantes, était né. Au surplus, il importe peu que le doyen d'âge des jeux de hasard soit le pile ou face, ou soit le simple tirage au sort de numéros jetés pêle-mêle en un même sac. Quelle que soit la solution de cette énigme historique, les joueurs et les parieurs de toute espèce, gens avisés, arrivèrent de bonne heure, on peut le croire, à déterminer dans les cas les plus aisés les rapports entre les chances favorables et les chances contraires, et à régler plus ou moins sagement et plus ou moins loyalement leurs enjeux.

Les Italiens furent de tout temps très amis des jeux de hasard. C'est chez eux que nous chercherons et

(1) Plusieurs ont appelé monnaie poinçonnée les « quatre cents » siècles d'argent, de monnaie vérifiée et officielle », — quadraginta siclos argenti probatae monetae publicae (*Genesis*, XXIII, 16), — qu'Abraham faisait verser devant témoins aux pieds d'un habitant des environs d'Hébron, à qui il achetait un terrain pour la sépulture de Sara. En réalité, ce n'étaient là que des lingots, dont les formes nous sont inconnues, lingots pesés *(probata moneta)* et ayant cours parmi les marchands *(publica)*. Hérodote (*Hist.*, I, 94) attribue aux Lydiens l'honneur d'avoir les premiers « frappé » leurs monnaies ; leurs rois Gygès (VIIe s.) et Crésus (VIe s.) estampillèrent, en effet, celui-là, les lingots de métal commun, celui-ci, le fameux statère d'or. Voy. Fr. Lenormant, *La Monnaie dans l'antiquité* Paris, 1878, 3 vol. ; et E. Babelon, *Les Origines de la monnaie*, Paris, 1897.

trouverons les premiers exemples, qui soient notés, de l'emploi du Calcul des Probabilités en des problèmes déterminés.

Le plus ancien de ces exemples se trouve, en effet, en un Commentaire de la *Divine Comédie*, publié à Venise en 1477 et dû à un certain Benvenuto d'Imola. Dante avait décrit, en des vers qui à Florence chantent dans toutes les mémoires, l'issue d'une partie de dés : le chagrin du perdant, tourmenté du souvenir de ses inexplicables malchances, la joie du gagnant, acclamé par la foule en délire (1). Les commentateurs italiens, arrivés à cet endroit du poème immortel, se passionnaient eux aussi avec la foule, puis s'attardaient volontiers à chercher à quels coups malchanceux Dante avait pensé en peignant le vaincu. Dans l'in-folio aujourd'hui rarissime de 1477, Benvenuto nous montre, calculs à l'appui, qu'à la *zara*, dont parle le poète et qui est le jeu des trois dés, les types des coups inattendus ou coups *azardi* sont les points 3, 4, 17 et 18 : chacun de ces points ne peut être amené,

(1) *Purgatoire*, Chant VI, vv. 1-9 :

Quando si parte 'l giuco della zara,
Colui che perde, si riman dolente,
Ripetendo le volte, e tristo impara : etc.

« Quand se termine le jeu de la *zara*, on abandonne le perdant à » sa douleur : en esprit, il revoit les coups manqués, et sa triste expé- » rience le prépare à ne plus se fier à la fortune. ... » — La *zara* était un jeu de dés : on lançait d'un jet trois dés à la fois ; on appelait *azari* les coups difficiles à obtenir, par exemple le triple as et le triple six. — Le passage en question du *Commentaire* publié en 1477 a été signalé par Libri, *Histoire des Sciences mathématiques en Italie*, t. II (1838), pp. 188-189 : il se retrouve aussi dans l'*Ottimo commento*, t. II, pp. 74-75. Libri donne, *ibid.*, une dissertation sur l'origine du mot *hasard*. Les étymologies proposées pour ce mot sont nombreuses et fort inégalement plausibles : voyez le *Dictionnaire* de Littré, le *Glossarium* de Du Cange (au mot *Azarum*) et le livre de H. Lammens, S. J., *Remarques sur les mots français dérivés de l'Arabe* (Beyrouth, 1890). Les Arabes possèdent le mot *az-zahr* (et les Turcs le mot *zâr*), dé à jouer, mais ce mot est étranger à leur langue classique ; ce mot est peut-être, chez eux, une importation venue d'Italie.

par le jet des trois dés réunis, que d'une seule manière, nous dit-il ; et en cela il se trompe (1).

Sans quitter l'Italie, nous voyons en 1494 les problèmes de Probabilités occuper une place spéciale dans la première Algèbre qui ait été imprimée, la *Summa de Arithmetica, Geometria, Proportioni et Proportionalità* du moine toscan Lucas Paciuolo (2), et plus largement encore en 1539 dans la *Praxis Arithmeticae generalis* du fameux médecin et mathématicien milanais Jérôme Cardan, disciple de Paciuolo en matière d'Algèbre. Le bon franciscain Paciuolo enseigna les Mathématiques successivement dans les diverses universités italiennes et sa *Summa* fut très étudiée durant le XVIe siècle. Il pose, en un petit chapitre intitulé *degli Straordinarii*, ce délicat problème, qui un jour sollicitera les méditations de Pascal et de Fermat : Deux joueurs ont convenu de finir le jeu dès que l'un ou l'autre aura gagné 6 points ; mais ils l'abandonnent au moment où l'un a gagné 5 points et l'autre 2 : comment doivent-ils se partager l'enjeu ? Puis vient cet autre problème : Trois tireurs à l'arc visent à tour de rôle et l'enjeu

(1) Les seules *combinaisons* des trois dés qui puissent fournir ces points, sont 1, 1, 1, qui donne 3 ; 1, 1, 2, qui donne 4 ; 6, 6, 5, qui donne 17 ; et 6, 6, 6, qui donne 18. Mais le Commentateur oublie que les dés, dans la seconde et dans la troisième de ces combinaisons, se prêtent à trois *arrangements* différents : ainsi, ils admettent les arrangements : 1, 1, 2 ; 1, 2, 1 ; 2, 1, 1. On sait que trois lettres distinctes peuvent former six arrangements (ou *mots*) différents : *a*, *b*, *c*, donnent *abc*, *acb*, *cab*, ..., *cba* ; si deux seulement des trois lettres sont distinctes, il n'y a que trois arrangements (ou *mots*) différents : ainsi, *a*, *b*, *b*, donnent *abb*, *bab*, *bba*. Trois dés cubiques peuvent fournir 216 arrangements, ou coups différents ($216 = 6^3$).

(2) Fra Luca Paciuolo, appelé souvent Pacioli ou encore Luca di Borgo, était du Couvent de Borgo San Sepolcro ; il s'était formé par l'étude des écrits de Jordanus, et surtout des deux écrits du contemporain et rival de celui-ci, Léonard Fibonacci, de Pise : le *Liber Abaci* (1202) et la *Practica Geometriae* (1220). Sa *Summa*, très claire et très méthodique (c'est le jugement de Paul Tannery), eut deux éditions (1494 et 1523). Les questions *Degli Straordinari* occupent, dans la *Summa*, le Traité (ou chapitre) 10e de la 9e et dernière Dispute (ou partie) de l'*Arithmetica*.

est promis a qui aura le premier atteint 6 fois la cible ; ils abandonnent le terrain au moment où ils ont touché la cible l'un 4 fois, le second 3 fois, le troisième 2 fois : comment répartir l'enjeu ? L'arithméticien toscan fait les partages proportionnellement aux points gagnés, 5 et 2, ou aux nombres des réussites, 4, 3, 2. Cette solution est incorrecte, mais la science du Calcul des Probabilités était encore à naître : déjà nous louerions volontiers Paciuolo d'avoir, du moins, posé de telles questions, pour peu qu'il se fût aperçu qu'elles sont épineuses. — Arrivons à Cardan. Esprit sagace et infiniment curieux de toute chose, nous trouvons chez lui le goût des recherches sur les Probabilités et une juste défiance des difficultés. L'ouvrage que nous citions tantôt, offre un chapitre entier *De Extraordinariis et Ludis* (1), et on y remarque, énoncée pour la première fois et sous la forme d'une loi, la prédiction de la ruine certaine du joueur, si riche soit-il, qui joue indéfiniment et à des conditions de jeu constamment égales à celles de son adversaire (2). Cardan honora même d'un ouvrage spécial les jeux de hasard. En cet écrit posthume, *De Ludo Aleae*, il formule déjà et justifie la proposition que Jacques Bernoulli rendra célèbre et qui s'appellera la Loi des grands nombres : Si l'on multiplie indéfiniment les épreuves, les résultats du hasard se régulariseront d'eux-mêmes, presque nécessairement (3). Dans

(1) *Praxis Arithmet. gener.*, ch. 61, pp. 110-113 du t. IV des *Cardani Opera*, Lyon, 1663.

(2) *Remotis fraudibus et scientiâ aequali existente*, n. 17 du ch. 61 cité. — Disons cependant que pour certains problèmes les solutions données en ce ch. 61 sont incorrectes, notamment pour des problèmes de « partis », de l'espèce de ceux que le chevalier de Méré proposera en 1654 à Pascal.

(3) In infinito numero jactuum, id contingere proximé necesse est : magnitudo enim circuitûs, est temporis longitudo, quae omnes formas ostendit. *De ludo Aleae*, cap. 15, p. 267 du t. I des *Opera*. Remarquons l'identification, ici affirmée par Cardan, entre ces deux probabilités : l'apparition future de tel événement dans la succession d'une série d'un grand nombre d'événements, qui se déroule

le même petit traité, l'attentif milanais réussit à apprécier judicieusement ce qu'il faut entendre par cas *également possibles :* il devance en cela tout autre géomètre (1).

On ne saurait parler de Cardan sans penser à son redoutable rival, le malheureux et étrange géomètre Tartaglia. Dans les deux premières parties (Venise, 1556 et 1560) de son *General Trattato di numeri et misure*, qui touche à toute espèce de questions d'Arithmétique, de Géométrie et d'Algèbre, on rencontre des problèmes de Probabilités : c'est pour lui une application de la Théorie des Combinaisons (2). On sait, d'ailleurs, qu'en cet ouvrage Tartaglia a donné, à propos de cette théorie, cent ans avant Pascal et presque sous la même forme, le fameux tableau des coefficients des puissances du binome, qui porte le nom de Triangle arithmétique ou Triangle de

à travers le temps, et l'extraction actuelle de tel numéro dans une collection d'autant de numéros réunie actuellement sous vos yeux. Cardan a échappé à l'illusion qui dictait ces lignes à d'Alembert : « Il est peut-être plus possible d'amener croix tout à la fois avec » dix pièces en un seul jet que de l'amener successivement avec une » seule pièce jetée dix fois. » *(Opusc. mathém.*, t. 4, Paris, 1768, p. 283 et p. 79).

(1) Par exemple, au chap. 15 déjà cité, Cardan examine le pari d'amener, au jeu de *pair ou impair*, impair au moins une fois dès les deux premiers coups. Il observe que ces deux coups comportent 4 hypothèses également possibles : pair-impair, pair-pair, impair-pair, impair-impair ; le pari réussit en trois de ces hypothèses ; la probabilité du succès est donc 3 sur 4. — Des géomètres illustres, comme d'Alembert *(Encyclopédie*, article *Croix ou pile)* et même Leibnitz *(Lettre à Louis Bourguet*, du 22 mars 1714), se sont parfois trompés dans l'appréciation de l'égale possibilité des cas ; on ne s'en étonnera pas, non plus que de voir Homère s'endormir un instant.

(2) Le dernier paragraphe du Livre XVI de sa première Partie (t. I, fol. 265) est intitulé *Error di fra Luca dal Borgo ;* Tartaglia y reprend ce problème de « fra Luca », ou Paciuolo : — Une brigade de soldats joue à la paume ; l'enjeu est de 22 ducats et sera gagné par le camp qui fera 60 points ; chaque coup vaut 10 points. Or, un incident oblige d'arrêter la partie commencée, et en ce moment l'un des camps avait gagné 50 points et l'autre 30. Comment répartir l'enjeu entre les deux camps ? — Tartaglia donne une solution qui, elle aussi, est incorrecte.

Pascal ; il est d'un fréquent usage dans les questions de Combinaisons et, par conséquent, dans les problèmes élémentaires de Probabilités. Rappelons aussi que le Triangle arithmétique était bien connu des arithméticiens du siècle de Tartaglia (1).

En France, à cette même époque, des essais de calcul des Probabilités apparaissent dans la première Algèbre publiée en ce pays, la *Logistica*, imprimée à Lyon en 1559, du chanoine Jean Butéon (de son vrai nom, Jean Borrel ou Bourrel), de l'abbaye de Saint-Antoine en Dauphiné. Ce Butéon fut élève, au Collège Royal à Paris, d'un autre savant dauphinois, Oronce Finé, le célèbre restaurateur des Mathématiques en France sous François Ier. La Bibliothèque de l'Université de Louvain possédait, et nous avons eu plusieurs fois le plaisir de le feuilleter, un des exemplaires, très rares en Belgique, de cette Algèbre ; il provenait de la bibliothèque du célèbre Adrien

(1) Un nom italien plus illustre que tous les précédents et qu'il ne nous est pas permis d'omettre ici, est le nom de Galilée. Parmi des écrits retrouvés après sa mort, qui arriva en 1642, figure une page intitulée *Considerazioni sopra il Gioco dei Dati*. Elle semble une réponse du savant de Florence à une question de jeu, qu'un de ses amis, très amateur des dés, en vrai Florentin, et médiocre mathématicien, lui aura posée, comme plus tard le chevalier de Méré à Pascal : Comment, en jetant mes trois dés, au *passe-dix*, obtiens-je plus souvent le point 10 que le point 9, et le point 11 que le point 12 ? Ces points ont chacun cependant six manières d'arriver, ni plus ni moins. L'esprit lucide et attentif du grand physicien fut peu embarrassé. La Note posthume que nous valut cette question, est d'une clarté et d'une simplicité parfaites. Galilée montre que le jet des trois dés peut donner les points 3, 4, 5, ..., 9, 10, et inversement les points 18, 17, 16, ..., 12, 11, respectivement de 1, 3, 6, 10, 15, 21, 25, 27, arrangements différents des faces des trois dés ; le nombre total des arrangements possibles est 216. Les points 10 et 11 ont chacun 27 chances d'arrivée sur 216 cas possibles, et les points 9 et 12 chacun 25. L'ami de Galilée devait être fort familier des dés, pour s'être aperçu de si minimes différences entre les chances. Cet écrit de Galilée fut publié en 1718, *Opere*, t. III, p. 119 ; voy. l'édition nationale de ses *Opere*, t. VIII (1898), pp. 591-594, parmi les *Scritture di date incerta*.

Romain et a péri en 1914 dans l'incendie, lors du sac de Louvain par les Allemands (1).

Mais ces arithméticiens, depuis le commentateur du Dante jusqu'au bon chanoine Butéon, en passant par Cardan et Tartaglia, appartiennent à la préhistoire du Calcul des Probabilités. Ils ne sont que des précurseurs, d'ailleurs peu heureux, des deux illustres créateurs de cette science, Pascal et Fermat.

Laplace, nous l'avons dit plus haut, a excellemment tracé le tableau des progrès du Calcul des Probabilités à partir de cette époque, véritable date de sa naissance. Nous renvoyons le lecteur à cet aperçu, fait de main de maître, et nous nous bornerons ici à saluer les noms et les ouvrages qui ont jeté le plus d'éclat.

C'est au XVIIe siècle que fut réservé l'honneur de formuler les principes et de tracer les méthodes qui firent du Calcul des Probabilités une véritable science. Deux géomètres de génie, Pascal et Fermat, eurent la gloire d'être les parrains de cette science nouvelle. Une où deux questions de jeu sont posées, en 1654, à l'austère janséniste Blaise Pascal par un homme du monde, le chevalier de Méré, grand joueur de dés — mais, nous dit Pascal, « il n'est » pas géomètre : c'est un grand défaut » (2). — Pascal donne

(1) *Johannes Buteo* était le nom latinisé de ce Jean Borrel (1485 ?-1564), chanoine régulier à Saint-Antoine de Vienne, près de Romans. On remarque en cette *Logistique* l'emploi de lettres pour désigner les inconnues, et à la fin du petit volume une *Dissertatio* sur les cadenas à combinaisons : le livre eut plusieurs éditions. Butéon avait publié en 1554, à Lyon, des *Opera geometrica*, qui eurent leur célébrité, ensemble curieux d'originales dissertations sur les dimensions de l'Arche de Noé, sur le Pont Sublicius, sur des problèmes de Diophante, etc.

(2) Lettre à Fermat, du 29 juillet 1654 : « ... *il a très bon esprit,* » *mais il n'est pas géomètre (c'est comme vous sçavez, un grand défaut)* » *et mesme il ne comprend pas qu'une ligne mathématique soit divi-* » *sible à l'infini et croit fort bien entendre qu'elle est composée de* » *points en nombre fini, et jamais je n'ay pu l'en tirer. Si vous pou-* » *viez le faire, on le rendroit parfait.* » — Moraliste et bel esprit vaniteux, le chevalier de Méré fut pris quelque temps au sérieux

sa solution, puis il en écrit à Fermat, le magistrat géomètre de Toulouse : Fermat élargit le problème et envoie de nouvelles lumières. Telle fut, en ce grand siècle, la naissance de la Théorie des Probabilités, et, du même coup, de la Théorie des Combinaisons, celle-ci éclairant les pas de celle-là et celle-là excitant la marche de celle-ci. Les documents relatifs à ce grand fait de l'histoire des Mathématiques sont fournis par la correspondance, infiniment intéressante, échangée entre Pascal et Fermat en 1654,et par l'opuscule de Pascal intitulé *Traité du Triangle arithmétique* (1654), où il développe les « propriétés étran- » gement nombreuses » de cette figure et les applications de ces propriétés à la Théorie des Combinaisons et à celle des Probabilités (1).

A propos du grand nom de Pascal et du droit de ce géomètre au titre de fondateur, avec Fermat, du Calcul des Probabilités, nous ne saurions ne pas rappeler ici les lignes par lesquelles Paul Mansion, dans le dernier article signé de lui en cette Revue, — article posthume, hélas (2) — caractérisait le mérite de Pascal à cet égard : « Dans le domaine des Sciences, le vrai mérite de Pascal

par la société du XVIIe siècle. Il se croyait un génie en Mathématiques.Lors de la crise que le calcul des indivisibles ouvrit dans la pensée scientifique de cette époque, crise racontée par Léon Brunschvicg dans *Les Étapes de la Philosophie mathématique* (1912), ch. IX, Méré s'improvisa chef de la résistance aux idées de la Géométrie nouvelle, soutenue par Pascal. Pascal traita toujours son adversaire avec une prudente, mais fine courtoisie. Plus libre, Leibnitz parlait de Méré avec une ironie et une sévérité méritées. Saint-Beuve lui a accordé un de ses *Derniers Portraits littéraires* (1852), portrait bien indulgent, mais où il reconnaît qu' « il faut avoir bien du contre- » temps pour aller faire la leçon à Pascal en Géométrie, et pour » avoir l'air de s'offrir en mari à Mme de Maintenon vers 1680 ».

(1) *Œuvres de Fermat*, publiées par P. Tannery et Ch. Henry, t. II (1894), et *Œuvres de Pascal*, publiées par L. Brunschvicg, et Pierre Boutroux, t. III (1908).

(2) Rev. des Quest. scient., avril 1920, pp. 333-350. L'article est intitulé *Pascal (1623-1662)*, et est écrit avec cette fermeté de jugement qui caractérisait le regretté Secrétaire de la Société scientifique.

» (dont d'ailleurs Chateaubriand n'a rien dit), c'est d'abord » d'avoir établi, en même temps et sous une forme meil- » leure que Fermat, les premières règles du Calcul des » Probabilités, par une méthode vraiment féconde, qui » contient virtuellement une partie importante du Calcul » des Différences. » Et Paul Mansion conclut en disant que, « si partout ailleurs Pascal est le continuateur de » quelqu'un, mais de quelqu'un qu'il fait oublier, tant il » l'emporte par la clarté et la logique de son exposition, » il est en Calcul des Probabilités un véritable initiateur ».

Les progrès du Calcul des Probabilités, dans les deux premiers siècles et demi de son existence, sont signés des noms les plus célèbres dans l'Histoire des Sciences exactes. Huygens donne en 1657, à Leyde, son *De Ratiociniis in Ludo Aleae* (1), et cet opuscule reste pendant plus d'un demi-siècle l'unique introduction à la Théorie des Probabilités. En 1713 paraît à Bâle l'*Ars conjectandi*, ouvrage posthume de Jacques Bernoulli (l'auteur était mort en 1705) : le petit volume s'ouvre par une reproduction du *De Ratiociniis* de Huygens, enrichie par Jacques Bernoulli d'un commentaire digne de l'un et de l'autre savant ; l'*Ars conjectandi* restera célèbre par le théorème qui, généralisé par Poisson en 1835, s'appellera la Loi des grands nombres. A cette époque, Pierre de Montmort venait de publier à Paris son *Essay d'Analyse sur les Jeux de hazard* (1708, anonyme) ; la seconde édition, de 1713, contient sa correspondance sur ce sujet avec Jean et Daniel Bernoulli. A Londres, en 1718, Abraham de Moivre, l'ami de Newton et de Halley, publia *The Doctrine of Chances* (2). Pour nous borner aux noms qui dominent les

(1) Voyez dans les *Œuvres de Huygens*, édition de la Société Hollandaise des Sciences, le t. XIV (La Haye, 1920), analysé dans cette Revue même (avril 1921) par le P. H. Bosmans. Les éditeurs ont ouvert ce tome par une étude historique et mathématique précieuse.

(2) Les éditions sont de 1718, de 1738 et de 1756. Dès 1711, il avait donné un Mémoire *De Mensura Sortis*, dans les *Philosophi-*

autres, ne citons plus que Euler, d'Alembert et leur ami, mais non leur égal, Condorcet ; Lagrange et Laplace, ces deux illustres rivaux ; Legendre et Gauss, qui nous dotèrent de la méthode des moindres carrés, publiée par le premier en 1805, mais déjà possédée et utilisée par le second ; Ampère, dont le Mémoire, extrêmement rare, sur la *Théorie mathématique du jeu* (1802) a été résumé ici même par Paul Mansion (1) ; Adolphe Quetelet (1796-1874), qui dans sa *Physique sociale*, en 1835, posa les bases de la statistique morale, ou, comme on dit aujourd'hui, de la sociologie positive (2) ; Tchebychef, le géomètre russe, qui forma école ; enfin, pour ne citer parmi les géomètres français contemporains que deux savants récemment disparus, Joseph Bertrand et Henri Poincaré (3).

cal Transactions. Né à Vitry, en Champagne, de Moivre (1667-1754) était de la religion protestante et, par suite de la révocation de l'Édit de Nantes, alla s'établir à Londres.

(1) Rev. des Quest. scient., oct. 1914, pp. 498-507. Cette analyse des *Considérations sur la Théorie mathématique du jeu*, d'André-Marie Ampère, fut le dernier article envoyé par Paul Mansion à cette Revue, dont il avait été l'un des fondateurs. Ce fascicule d'octobre 1914, imprimé en son temps normal, ne fut livré aux abonnés qu'après le terme de l'occupation allemande. Nous avons cité plus haut l'article sur *Pascal*, retrouvé dans les écrits du regretté Secrétaire, qui le destinait à la Revue, précieuse collaboration posthume, parue en avril 1920.

(2) Voir au sujet du mathématicien belge le beau livre de Lottin, *Quetelet, statisticien et sociologue*, Louvain, Institut supérieur de Philosophie (Paris, Alcan, 1912). Joseph Bertrand, en son *Calcul des Probabilités* (1889), critique spirituellement, mais avec peu de justice, l'œuvre de Quetelet, et mérite le reproche que Paul Mansion lui fait, de n'avoir point sérieusement étudié cette œuvre ; Cournot, dans son *Exposition de la Théorie des Chances* (1843), mérite un reproche analogue. Le petit ouvrage que Quetelet publia en 1853 sous le titre *Théorie des Probabilités* (Bruxelles, Jamar) reste un des meilleurs exposés, d'une clarté parfaite et d'une concision voulue, de cette théorie et des vues de l'auteur sur les applications de cette science aux sciences physiques et naturelles et aux sciences politiques et morales.

(3) On trouvera une ample histoire du Calcul des Probabilités dans l'opuscule de Ch. Gouraud, *Hist. du C. des Prob.*, Paris, 1848, et surtout dans la vaste et solide *History of the Theory of Probability*,

Parmi les noms que l'on vient d'écrire, il en est un qui, pendant la durée presque entière du XIXe siècle, personnifia le Calcul des Probabilités : c'est le grand nom de Laplace. Sa *Théorie analytique des Probabilités*, qu'il publia en 1812 et qu'il ne cessa, presque jusqu'à sa mort, arrivée en 1827, d'enrichir de suppléments, était le fruit de plus de quarante ans de labeur. Depuis 1770, en effet, il avait

Cambridge et Londres, 1865, de I. Todhunter, et dans l'ouvrage complet *Die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie*, Leipzig, 1899, de Czuber. — Le regretté Pierre Boutroux (1881-1922), fils de l'éminent philosophe Ém. Boutroux et neveu de Henri Poincaré, a écrit dans la REVUE DU MOIS, juin 1908, pp. 641-654, un article intéressant sur les *Origines du Calcul des Probabilités*. Il voit, à tort, dans les problèmes des moines Bède et Alcuin (VIIIe s.) et du célèbre mathématicien et médecin de l'Université de Louvain, Gemma Frisius (*Arithmeticae practicae methodus*, 1re édition, Anvers, 1540) des ancêtres des futurs problèmes de Probabilités ; en réalité, les curieux problèmes arithmétiques de ces savants ne touchent ni les jeux de hasard, ni d'autres questions de Probabilités. Nous savons gré à P. Boutroux de nous avoir parlé de la *Mathesis biceps, vetus et nova*, Lyon, deux in-folio, 1760, de l'étrange et remuant moine cistercien espagnol Caramuel, qu'il appelle « le savant jésuite espagnol », erreur déjà de Nicolas Bernoulli et de Todhunter. Pierre Boutroux loue les dissertations morales de ce théologien-mathématicien sur les jeux de hasard ; il eût mieux fait de nous faire connaître la valeur mathématique, qui n'est pas nulle, du chapitre intitulé *Combinatoria*, pp. 921-1036, et en particulier, en ce chapitre, la valeur de sa Théorie du Hasard (*Kybeia, sive de Aleâ*). Todhunter a analysé (pp. 44-46) et loué ces pages de Caramuel. Le moine espagnol avait fort bien étudié Clavius. En matière de Probabilités, il donne des solutions souvent correctes de questions difficiles ; il s'éclaire de l'opuscule de Huygens, *De Ratiociniis in Ludo Aleae* (1657) : il le connaît par une copie manuscrite, sans nom de l'auteur, et il le croit l'œuvre de Longomontanus. Pierre Boutroux eût pu faire connaissance chez Niceron (*Mém.*, t. XXIX, 1734) et davantage chez Paquot (*Mém.*, t. VIII, 1766, pp. 251-289) de la vie agitée de ce moine bernardin, passionné de Théologie et de Mathématiques, qui enseigna la Théologie tantôt à Alcala, en Espagne, tantôt en l'abbaye des Dunes, en Flandre, tantôt en Allemagne ; chemin faisant, il prit à Louvain, en 1638, le bonnet de Docteur ; il mourut évêque en Italie, en 1673. Esprit bizarre, souvent faux, ardent anti-janséniste, malheureusement moraliste ultra-laxiste, ce prolifique auteur publia 61 ouvrages et, mourant, laissa quatre coffres remplis de 15 autres ouvrages encore manuscrits : Paquot donne la bibliographie complète en son article *Jean Caramuel y Lobkowitz*.

publié mémoires sur mémoires, presque tous consacrés à la Mécanique céleste ou à la Théorie des Probabilités. Ces deux sciences étaient les deux habituels objets de ses méditations et de ses recherches, et dans toutes ses publications ces deux sciences s'entremêlaient l'une à l'autre, celle-ci comme la servante de celle-là. Préparé par des travaux aussi prolongés et écrit par un si puissant et si profond analyste, le grand ouvrage de Laplace ne pouvait être qu'un chef-d'œuvre. Récemment encore, on a pu le juger en ces termes : « Ce livre est si plein » d'idées qu'il a vraiment été la source de presque toutes » les recherches ultérieures des géomètres sur les objets » qui y sont abordés, même celles de Gauss et de » Tchebychef » (1).

(1) *Leçons de Calcul des Probabilités, faites par E.-J. Boudin à l'Université de Gand, de 1846 à 1890*, publiées par Paul Mansion, Paris, Gauthier-Villars, 1916. L'ouvrage fut imprimé à Gand, sous l'occupation allemande. — Voy. *Introd.*, p. xv. — Paul Mansion ajoute : « ... Qu'il nous soit permis d'exprimer un vœu. Un jeune » analyste devrait entreprendre une étude critique de ce grand » ouvrage, pour que l'on sache enfin, tant dans la théorie des fonc- » tions génératrices que dans le Calcul des Probabilités, ce qui y » est vraiment démontré, ce qui n'y est qu'esquissé, ce qui n'y est » exact que moyennant des restrictions ou des corrections ... Nous » ne doutons pas que la moisson ne soit abondante pour l'analyste » qui fera une étude critique du livre de Laplace. »

Ce livre, où Paul Mansion enrichit des plus abondants commentaires le texte des Leçons de son vénéré maître et prédécesseur et le fait suivre de près de cent pages d'annexes, fut le dernier ouvrage du savant et très érudit analyste. Il le fit imprimer à Gand sous ses yeux, en pleine occupation de la ville par les Allemands, et l'on sait qu'en peu de villes l'occupation fut plus dure qu'en celle-là. Le *Fini d'imprimer le 5 décembre 1916* clôt fièrement le volume (p.335). Mansion se donna la joie de munir la page de titre de son livre d'une épigraphe grecque : deux vers d'Eschyle, Ὕβρις γὰρ ... En contact habituel avec la Mathématique grecque, Mansion était resté un hellénisant passionné, à la façon de Paul Tannery. Les censeurs allemands (car, en ces temps-là, rien ne pouvait s'imprimer sans être soumis à la censure de l'occupant) ne se défièrent point de ces deux vers grecs, qu'ils ne surent déchiffrer : Mansion n'y avait joint ni traduction, ni référence. Le distique appartenait à l'immortelle tragédie *Les Perses* (vers 821-822), où Eschyle nous montre le

Ces lignes sont de Paul Mansion, qui, durant sa carrière scientifique d'un demi-siècle, fit, lui aussi, du Calcul des Probabilités l'une de ses études de prédilection et enseigna cette science à l'Université de Gand pendant vingt-cinq de ces cinquante années.

Laplace nous a laissé, en effet, deux impérissables monuments de son génie mathématique. L'un est sa *Mécanique céleste*, immense et magnifique commentaire de la loi newtonienne de l'attraction universelle. Les deux premiers volumes sont la partie fondamentale de l'œuvre et parurent en 1799 ; les trois autres furent le fruit des labeurs des vingt-cinq années suivantes. Deux ans après avoir publié le volume dernier, le vieux savant quittait ce monde, le 5 mars 1827, un siècle presque jour pour jour après le grand Newton, coïncidence singulière que le Calcul des Probabilités eût été impuissant à prédire. Le second des chefs-d'œuvre de Laplace est cette *Théorie analytique des Probabilités*, dont nous nous occupions tantôt.

Ces deux fameuses productions de la science mathématique moderne sont d'une lecture réservée aux géomètres, et souvent (le second surtout) d'une lecture difficile pour les meilleurs même d'entre eux. Mais Laplace, héritier de l'esprit scientifique du XVIIIe siècle en ce que

sage Darius revenant des Enfers pour admonester son fils Xerxès, hanté par la folie des conquêtes. Le fils de Darius a envahi la Grèce et brûlé Athènes et ses temples : Darius lui annonce que l'inévitable justice des Dieux a suscité à la Grèce, noble et innocente, le monde entier comme Allié, afin qu'il soit puni de sa criminelle et folle invasion et de ses sacrilèges incendies, par la débâcle de ses superbes armées et par un désastre qui restera sans pareil. — A la page dernière de son texte, p. 322, Mansion reproduit le distique grec et le traduit : « Laissez germer l'insolence impie, ses criminels épis lui » feront récolter à lui-même une moisson de douleurs » ; et il le commente en mathématicien : Nulle loi du monde moral n'est confirmée plus que cette loi d'immanente et divine justice, par la Statistique des événements à travers les siècles, car la Divinité n'abandonne rien au Hasard. — Les censeurs allemands ne lurent point, sans doute, cette page 322.

cet esprit avait de meilleur, avait aussi hérité des goûts littéraires et philosophiques de ce siècle. Sans posséder les ressources du brillant talent et de l'exquise finesse des Buffon et des Fontenelle, il aimait, à l'exemple des d'Alembert et des Euler, d'écrire des pages et même des livres pour le public étranger aux sciences. A côté de sa *Mécanique céleste*, il éleva le vaste monument qu'on appelle l'*Exposition du système du monde ;* c'était la *Mécanique céleste*, mais, dit Arago, « débarrassée du grand attirail » de formules analytiques par lequel doit passer tout astro- » nome qui désire savoir, selon l'expression de Platon, quels » chiffres gouvernent le monde ». Cet ouvrage ouvrit à son auteur les portes de l'Académie Française. Il se termine par un abrégé de l'Histoire de l'Astronomie, qui restera toujours digne d'être lu, quand même il ne serait point un chef-d'œuvre. Laplace fit pour le Calcul des Probabilités ce qu'il avait merveilleusement réussi à faire pour la Science des Astres. Dès le seuil du volume de la *Théorie analytique des Probabilités*, un redoutable appareil de formules se dressait, avertissant le lecteur de ne point se hasarder en ce vaste ouvrage, s'il ne s'y est préparé par de profondes études mathématiques (1). L'illustre auteur publia donc sur cette même Science du Hasard un autre livre, moins effrayant en sa forme et son langage : le lecteur peut y pénétrer sans la préalable initiation aux arcanes et aux hiéroglyphes de l'Analyse, ce qui n'empêcha point les Mathématiciens de le lire tous eux aussi et de le proclamer digne de leur maître. C'est l'*Essai philosophique sur les Probabilités*, et nous avons au début de nos pages présentes remercié M. Solovine de l'avoir donné en sa Collection des *Maîtres de la Pensée scientifique*. Cet ouvrage fut publié par Laplace en 1814 comme introduction à la seconde édition de sa *Théorie analytique des*

(1) Une excellente analyse de toute l'œuvre de Laplace a été faite par Todhunter, *ouvr. cité*, pp. 464-613.

Probabilités, et fut livré en un volume à part, en cette même année, au public étranger aux Mathématiques ; il compta, du vivant de l'auteur, cinq éditions.

Nous n'entrerons point dans l'analyse de l'*Essai ;* mais nous ne pouvons omettre de dire qu'il importe, à qui aime de lire et de méditer ce livre, écrit il y a plus de cent années, de n'en accepter les doctrines — soit scientifiques, soit philosophiques — que sous la réserve de les compléter et de les corriger en s'adressant à d'autres Maîtres de la science et de la pensée, qui soient plus proches de nous et même, à certains égards, plus sûrs que l'illustre Laplace lui-même.

Dans le cours des trente dernières années environ, nous avons eu la bonne fortune de voir paraître, tous deux sous un même titre, *Calcul des Probabilités*, deux ouvrages signés des noms de deux Mathématiciens qui furent à la fois géomètres de première ligne et penseurs éminents : Joseph Bertrand et Henri Poincaré (1). Tous deux furent membres illustres et Secrétaires de l'Académie des Sciences et membres de l'Académie Française. Le *Calcul des Probabilités* (1889) de Joseph Bertrand résume les leçons faites par lui au Collège de France. Ce livre s'ouvre par une vaste Préface, merveilleuse de clarté et d'élégance, du reste étincelante de verve et d'un charme séduisant ; mais tout l'ouvrage peut se lire sans grandement embarrasser le lecteur muni des éléments de la Science mathématique et prêt, d'ailleurs, à accepter la définition du signe de l'intégrale, ou du moins sa traduction en langage profane, que Bertrand excelle à nous donner. Bertrand publia son livre en 1889 (certains exemplaires portent le millé-

(1) Les analyses les meilleures de ces deux ouvrages ont été faites dans le BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES de Darboux et J. Tannery, l'une par Jules Tannery, qui rend compte du livre de Bertrand, en 1889 (pp. 25-48 du BULLETIN), l'autre par A. Boulanger, qui rend compte de celui de Poincaré, en 1912 (pp. 169-184).

sime de 1888). Poincaré publia le sien en 1896 : c'était son Cours de la Sorbonne ; il donna, peu avant sa mort prématurée, arrivée le 17 juillet 1912, une seconde édition, qu'il avait lui-même revue. Henri Poincaré s'adresse aux Mathématiciens : son livre est tout de haute Analyse ; mais il l'ouvre, en sa seconde édition, par une introduction écrite pour les lecteurs étrangers, ou non, au langage et à l'écriture mathématiques : c'est la reproduction du beau et inoublié chapitre *Les Lois du Hasard*, que l'on avait lu en son livre, de 1908, *Science et Hypothèse*. Plus austère que Bertrand et moins sceptique que lui au sujet de la valeur de la Science du Hasard (du moins, dans l'édition de 1912), Poincaré reste le Maître à l'autorité incomparable.

Nous nous reprocherions de dire que ces deux mathématiciens, Poincaré et Bertrand, sont autorisés entre tous pour compléter et corriger Laplace, si nous ne nommions, au lecteur de cette Revue, une fois encore le regretté savant Paul Mansion. Les *Leçons de Calcul des Probabilités*, faites à Gand par E.-J. Boudin de 1846 à 1890, et que Paul Mansion publia en 1916, sont, par le fait des innombrables additions et commentaires de Paul Mansion, l'œuvre vraiment originale de cet ancien Secrétaire de la Société scientifique. C'est l'ouvrage dont la lecture sera infiniment profitable à quiconque voudra, après avoir achevé de lire le livre de Laplace, l'*Essai philosophique sur les Probabilités*, réfléchir de nouveau et formuler des conclusions. Paul Mansion avait le grand don qui a manqué, à certains moments, à Laplace : le don de la lumière qu'apporte la Foi catholique et que la Philosophie catholique nous apprend à appliquer dans l'étude des Sciences. Le livre de Paul Mansion nous offre, en un appendice des plus précieux, le Discours prononcé par l'éminent Professeur de Gand en séance publique de la Classe des Sciences de l'Académie royale de Belgique, le 16 décembre 1903 ; il a pour objet *La portée objective*

du Calcul des Probabilités, et nul n'était mieux préparé que Paul Mansion à traiter cette question de Science et de Philosophie (1).

B. Lefebvre, S. J.

(1) Nous n'avons voulu nommer en nos pages que des Mathématiciens disparus. Cependant disons qu'aux amis des choses savantes et aux hommes livrés à l'étude des sciences expérimentales — sciences physiques et sciences sociologiques et biologiques — peu de livres conviennent mieux que les *Leçons élémentaires sur le Calcul des Probabilités* de R. de Montessus (Paris, Gauthier-Villars, 1908), et surtout que ces deux beaux ouvrages d'Émile Borel, *Éléments de la Théorie des Probabilités* (Paris, A. Herman, 1909) et *Le Hasard* (Paris, F. Alcan, 1914). De tels livres aident à joindre à la connaissance des résultats essentiels de la Théorie des Probabilités, une idée de leurs méthodes générales et une appréciation réfléchie de la valeur pratique et de la valeur scientifique des Lois du Hasard et de leur portée philosophique.

Les dimensions des étoiles

Ce n'est évidemment pas d'aujourd'hui, ni d'hier seulement, que les astronomes essaient de mesurer les dimensions des étoiles, ces corps célestes si petits, ou si éloignés de nous, qu'ils semblent une poussière lumineuse jetée dans les cieux pour embellir la sérénité des nuits. Déjà les Grecs, les plus avertis d'entre eux du moins, soupçonnaient que ces minuscules points brillants nous illusionnaient sur leurs réelles dimensions par un éloignement considérable. Héraclide se demande quelque part si chaque étoile ne serait pas un monde ; et peut-être ne veut-il pas seulement dire par là un astre de grande étendue, mais tout un système de planètes évoluant autour d'un corps central plus important. Pythagore (-540) est plus explicite ; il enseigne sans détours que les étoiles sont de véritables soleils, qui, comme le nôtre, ont mission d'éclairer des mondes habités. Cette affirmation, il est vrai, ne préjuge rien encore de la grandeur réelle des étoiles, puisqu'à cette époque il ne semblait ridicule à personne de penser que le soleil n'était pas plus étendu que le Péloponèse.

Au moyen âge, certains savants s'aventurent à donner des mesures plus précises. Albategnius, par exemple, au IXe siècle, écrit qu'une étoile de première grandeur a un rayon vingt fois plus petit que celui du soleil, tandis que celles de sixième grandeur, les plus petites que découvre la vision à l'œil nu, auraient un rayon seize fois plus grand que celui de la terre. Quelques années plus tard, un autre Arabe, Alfragan, cherchant le volume des

étoiles, lui fixe un maximum de 107 fois le volume de la terre, et un minimum de 18 fois.

Plus tard les estimations se précisent encore, sans être d'ailleurs rigoureusement établies. Le diamètre de Sirius est de 2 à 4 minutes d'arc, dit Kepler. Il est de 5 minutes pour les étoiles de première grandeur, au dire de Galilée ; de 2 minutes en moyenne, d'après Tycho-Brahé. « Ces étoiles seraient donc 68 fois grosses comme la terre. Rien n'empêche de supposer 100 fois pour les plus grosses, comme Sirius et la Lyre. Pour les moindres, on pourrait supposer 45. Les étoiles de sixième grandeur ont vingt secondes ; leur diamètre sera 2/5 ; la terre sera trois fois grosse comme ces étoiles. »

On voit à quel point on peut se fier à l'exactitude de ces valeurs ; il semble que souvent elles aient été données soit au jugé, soit pour des raisons de convenance, soit à la suite d'observations rudimentaires. En cette matière qui, faute d'instruments, ne pouvait être soumise à une étude méthodique, la rigueur scientifique n'était pas très poussée. Qu'on en juge par cet autre texte de Tycho-Brahé. La Nova, qu'il vient de découvrir en 1572, lui paraît ne pouvoir être beaucoup plus éloignée que Saturne. « La distance de Saturne à la terre, dit-il, est de 12 300 demi-diamètres terrestres. Celle de la nouvelle étoile à la terre doit être environ 13 000 demi-diamètres pour laisser un petit espace entre la région de Saturne et celle de l'étoile, *prout conducens est.* » Cet espace ne peut d'autre part être bien grand « car, vide d'étoiles et de planètes, il n'aurait aucun usage qui tombe sous le sens, ce qu'il serait absurde de croire. »

L'introduction de la lunette dans les recherches astronomiques a pour effet de diminuer fortement les valeurs proposées jusqu'alors en solution du problème. Le diamètre angulaire des étoiles tombe à dix secondes, puis à six et finalement à cinq. W. Herschel le réduit encore et en 1791 il l'évalue à une minime fraction de seconde

d'arc. Mais toutes ces solutions n'entraînent pas de certitude bien assurée. Laplace dans son Système du Monde (1796) se montre fort réservé. « La petitesse du diamètre apparent des étoiles est prouvée, dit-il, surtout par le peu de temps qu'elles mettent à disparaître dans leurs occultations par la lune, et qui, n'étant pas d'une seconde, indique que ce diamètre est au-dessous de cinq secondes de degré... Il est très vraisemblable que ce sont autant de corps lumineux, *plus ou moins gros*, et placés *plus ou moins* au delà des limites du système solaire. »

Ce serait un tort de s'étonner de cette période multiséculaire de tâtonnements. N'ayant pendant longtemps, à leur disposition, que les données malaisément mesurables de la vision à l'œil nu, les astronomes manquaient d'éléments pour résoudre le problème. C'est merveille que certains n'aient pu se contenter de solutions purement fantaisistes et qu'ils aient essayé de fonder leurs approximations sur des renseignements d'observation. Le P. Riccioli, S. J., se servait pour cela d'un petit triangle isocèle dont la base pouvait sous-tendre un angle minimum de 2 secondes. Après avoir dirigé cet instrument sur l'étoile, il en écartait doucement les deux côtés jusqu'à ce que l'étoile fût cachée à son regard. Il suffit de rappeler le phénomène bien connu de la scintillation pour deviner à quels résultats erronés était inévitablement vouée cette méthode. Et de fait les diamètres angulaires obtenus variaient de 18 à 4 secondes d'arc, alors qu'ils sont en réalité au moins 100 fois moindres.

L'emploi de la lunette ne pouvait d'ailleurs supprimer la difficulté. En effet, l'image obtenue au foyer ne correspond pas à l'étoile avec la simplicité que prévoit l'optique géométrique ; la diffraction étend cette image et l'entoure d'une série d'anneaux, clairs et obscurs tour à tour, dont il est difficile de la séparer entièrement. Inutile donc de la mesurer, fût-ce avec un micromètre très précis ! Cela renseignerait plus sur l'ouverture de l'objectif, dont dépend

l'étalement de la tache lumineuse, que sur la grosseur réelle de l'astre observé.

La mesure directe semblait donc bien impossible, et force était d'aborder le problème par des voies indirectes, s'il s'en trouvait.

Le diamètre linéaire d'une étoile, c'est-à-dire la distance vraie des deux pôles opposés, est donné très simplement, en rayons moyens de l'orbite terrestre, par le quotient de son diamètre angulaire, c'est-à-dire de l'angle sous lequel le diamètre linéaire est observé, et de sa parallaxe. On sait que la parallaxe est l'angle maximum que forment au centre de l'étoile deux droites allant respectivement au centre du soleil et à celui de la terre, ou encore l'angle sous lequel le rayon de l'orbite terrestre apparaît à un observateur situé sur l'étoile. Pour la calculer, on dispose de plusieurs méthodes ingénieuses que nous devons malheureusement renoncer à décrire ici (1) ; leurs résultats sont suffisamment concordants aujourd'hui pour que nous puissions y faire crédit. Ceci posé, le problème se réduit à la recherche des *diamètres angulaires* des étoiles.

Sur le firmament sombre, les étoiles offrent des éclats très différents ; il suffit d'un coup d'œil pour s'en rendre compte. A l'époque où on les croyait toutes équidistantes de la terre, piquées comme des clous dorés dans le dôme immense où finissait le monde, on conclut immédiatement d'une échelle des visibilités à une échelle absolument correspondante des surfaces éclairantes. L'ordre des éclats fut celui des magnitudes, ou plutôt, d'un mot plus trompeur encore, celui des *grandeurs*. Ne recherchant que les dimensions apparentes, nous

(1) Les lecteurs pourront en trouver un exposé dans la collection même de la Revue, tome XLVII, p. 80 : V. Meurs, S. J., Les étoiles.

pourrions accepter cette classification, si toutefois l'éclat apparent ne dépendait lui-même que de la grandeur de la surface éclairante. En réalité, il est proportionnel aussi à l'éclat surfacique de la source, c'est-à-dire à la quantité de lumière émise par unité d'aire, et rien ne permet d'affirmer que cette quantité soit la même pour tout le système stellaire. N'importe ! Supposons momentanément qu'il en soit ainsi et que cette valeur constante soit celle de l'éclat surfacique du soleil. Dès lors les rayons du soleil et d'une étoile seraient dans le même rapport que les racines carrées de leurs éclats apparents. Déterminer ce rapport n'est pas chose facile et comporte, on le prévoit, des approximations assez lâches. Aussi les premiers résultats s'en ressentent. Steinheil trouve pour l'éclat du soleil et celui d'Arcturus un rapport de 6008 millions, Stampfer de 2597 millions. La divergence est grande, mais du moins ces chiffres restent de même ordre. Il n'en va plus de même quand, à propos de Sirius, le rapport est évalué par Steinheil à 3 840 000 000, par Bond à 5970 et par Clark à 3600. Ces valeurs ne sont plus comparables. Fort heureusement, depuis ces lointains essais, les méthodes se sont perfectionnées, les causes d'erreur ont été éliminées et les chiffres d'aujourd'hui se rapprochent unanimement des plus grandes valeurs jadis obtenues. Les adoptant, nous obtiendrons, en tenant compte de la valeur connue du rayon solaire, une première estimation du diamètre angulaire des étoiles.

Cherchons, par exemple, le rapport de l'éclat apparent du soleil à celui de Bételgeuse (1). L'écart des magnitudes (2) entre ces deux étoiles est, en valeur absolue, de 26,7 + 0,9 = 27,6. Les deux cinquièmes de ce

(1) C'est l'étoile α de la constellation d'Orion.

(2) Il y a des siècles que les étoiles ont été classées au jugé en diverses *grandeurs* : les plus éclatantes formaient la première grandeur ; celles qu'on voit à peine à l'œil nu appartenaient à la sixième. Plus tard, les mesures photométriques et l'étude physiologique du

nombre, soit 11,04 expriment, d'après la loi de Pogson, le logarithme du rapport des éclats, qui serait en ce cas de l'ordre de 10^{11}. Et si les diamètres angulaires sont entre eux comme la racine carrée de ce rapport, il faut attribuer à Bételgeuse un rayon apparent de 0,0028 seconde, celui du soleil étant sensiblement de 15 minutes d'arc.

Valeur approchée, bien entendu ! Valeur fictive même ! Ce serait plus exactement celle du rayon d'une étoile qui aurait même éclat surfacique que le soleil et même éclat apparent que Bételgeuse. D'où le nom de *diamètres équivalents*, donné aux solutions obtenues par cette méthode.

Pour transformer ces diamètres angulaires apparents en des diamètres angulaires réels plus ou moins approchés, il fallait déterminer les différences d'éclat surfacique entre les étoiles et le soleil. Problème assurément ardu, que cependant les astronomes osèrent aborder et dont ils eurent la joie de fournir des solutions très suffisamment confirmées par l'observation. Cette audace et ce succès sont tout à la gloire de la Science d'aujourd'hui.

Voici le procédé suivi. Les études des dernières années sur la physique du rayonnement ont établi que l'éclat surfacique d'un corps incandescent augmente avec la température et qu'il serait proportionnel à la quatrième puissance de celle-ci dans le cas idéal du corps noir théorique (1). D'autre part, l'analyse spectroscopique des

sens de la vision ont précisé ce qu'il fallait entendre par la *grandeur* ou mieux la *magnitude* d'une étoile. Elle répond à la formule :

$$M = 1 - 2{,}5 \log E,$$

dans laquelle E représente l'éclat apparent de l'étoile, celui d'*Aldebaran* servant d'unité de comparaison.

(1) Un corps est *noir* lorsque, au lieu de réfléchir un certain nombre des radiations lumineuses qui viennent le frapper, il les absorbe. Le *corps noir théorique* serait celui qui les absorberait

sources lumineuses révèle que leur lumière varie, elle aussi, avec la température. Un même élément, porté en laboratoire à des températures toujours plus élevées, donne des spectres différents. La disposition des raies caractéristiques y est légèrement modifiée et l'intensité lumineuse maxima s'y déplace sensiblement du rouge vers le bleu. Admettons que cette loi se vérifie sur toute l'échelle des températures et même pour celles que ne peuvent réaliser les moyens actuels d'investigation. En ce cas, les étoiles étant vraisemblablement composées des mêmes éléments que la terre — on n'a du moins aucune preuve du contraire, tandis que, à peu d'exceptions près, toutes leurs raies spectrales sont identifiées — la position relative des diverses raies dans leurs spectres et celle de la zone lumineuse maxima peuvent être considérées comme des indices de leurs températures, et celles-ci sont alors évaluées exactement par une simple application des lois établies en laboratoire.

Solutions approchées de nouveau ! Et même solutions fictives encore ! On les utiliserait cependant et le rapport de leurs quatrièmes puissances ferait connaître les divers éclats surfaciques des étoiles, celui du soleil servant d'étalon de comparaison.

Et de fait, la lumière des étoiles, décomposée par le prisme, a montré des spectres nettement dissemblables. Les unes, de lumière bleue ou blanche, ne donnent de raies très claires que celles de l'hélium ; d'autres donnent plutôt celles de l'hydrogène ; d'autres encore, d'aspect rouge, celles des métaux ; et ces dernières étoiles ne doivent guère dépasser les températures de laboratoire puisque les molécules métalliques ne paraissent pas y être dissociées.

absolument toutes. Mais élevés à une température assez considérable ces corps émettent à leur tour des radiations, d'abord rouges, puis blanches : comme celles-ci ne sont plus, même partiellement, dues à la réflexion, ce sont elles évidemment qui ont servi de base à la recherche des lois du rayonnement.

Sur ces données d'expérience, évidemment plus nombreuses de beaucoup que ce que nous en rappelons ici, a été établie une échelle des températures absolues qui va de 20 à 30 000° pour les étoiles à hélium jusqu'à 2500 ou 3000° pour les étoiles à raies métalliques. Il est clair que ces chiffres ne jouissent pas d'une précision minutieuse ; on se rappelle en effet que, pour les déterminer, on appliqua simplement aux étoiles des lois établies dans l'hypothèse du corps noir théorique ; par ailleurs on a dû négliger, en cours de route, des sources d'erreur (par exemple, l'absorption de l'atmosphère ultra-photosphérique) (1), dont il n'est pas possible aujourd'hui de préciser l'importance. Du reste les valeurs, parfois fort diverses, proposées pour la température d'une même étoile par des savants d'égale compétence engagent vivement à la prudence.

Pour Bételgeuse heureusement, ces valeurs concordent suffisamment ; leur moyenne est de 2700°, tandis que la température du soleil serait de 6000°. D'après la loi que nous avons rappelée, et qui est due à Stephan, les éclats surfaciques des deux étoiles sont dans le rapport des quatrièmes puissances de ces températures ; le soleil serait donc, à surfaces égales, vingt-cinq fois plus lumineux que Bételgeuse. Dès lors le diamètre que nous attribuions tantôt à cette étoile était cinq fois trop petit, et nous nous rapprochons certainement de la vérité en lui donnant pour valeur minima (2) 28 millièmes de seconde d'arc.

(1) La masse lumineuse de l'étoile est en effet très probablement entourée, comme la terre l'est par l'atmosphère, d'une vaste zone où les éléments ne sont plus à température suffisante pour émettre de la lumière. Pour nous parvenir, le rayonnement de la photosphère doit traverser cette région ; il s'y affaiblit et dès lors les évaluations des températures stellaires, ne tenant compte que du rayonnement observé au terme du trajet, courent grand risque de rester en deçà des températures réelles.

(2) Cette valeur est minima, car dans nos calculs nous avons pris toujours les chiffres les moins élevés.

Peut-être les nombreuses réserves que nous avons dû formuler au cours de cet exposé auront-elles pour effet de diminuer la confiance dans la méthode et ses résultats. Ces réserves étaient nécessaires pour montrer clairement tout ce qu'il entre, dans le procédé, de suppositions idéales et de calculs approchés. La confiance s'accroît d'ailleurs à considérer les résultats. Ce serait déjà bien remarquable que tous fussent du même ordre. Ils le sont cependant, et, somme toute, de faible écart. Eddington, Nordmann, Russel et Wilsing ont chacun évalué, par le calcul, le diamètre de Bételgeuse et trouvèrent respectivement 51, 59, 31 et 39 millièmes de seconde d'arc. Mais, chose bien plus remarquable encore, la valeur, que fournit récemment la mesure directe par le procédé Michelson, est intermédiaire aux précédentes, et presque exactement leur moyenne arithmétique.

Les longs efforts dépensés à cette tâche par des savants de renom n'avaient donc pas été vains.

En 1868, dans un rapport pour le prix Bordin, Fizeau écrivait : « Il existe pour la plupart des phénomènes d'interférences... une relation remarquable et nécessaire entre la dimension des franges et celles de la source lumineuse ; en sorte que les franges, d'une ténuité extrême, ne peuvent prendre naissance que lorsque la source lumineuse n'a plus que des dimensions angulaires presque insensibles. D'où, pour le dire en passant, il est peut-être permis d'espérer qu'en s'appuyant sur ce principe et en formant, par exemple au moyen de deux larges fentes très écartées, des franges d'interférence au foyer des grands instruments destinés à observer les étoiles, il deviendra possible d'obtenir quelques données nouvelles sur les diamètres angulaires de ces astres. »

La méthode de Michelson n'est que la mise en œuvre de cette suggestion.

On sait que, lorsqu'on soumet la lumière monochromatique d'une source ponctuelle à ne passer que par deux fentes très étroites, on obtient une série de bandes alternantes, les unes lumineuses, les autres obscures, qu'on a nommées franges d'interférence. Il n'est pas difficile d'en expliquer la genèse. Supposons que la source S_1 (fig. 1) soit sur le plan de symétrie des fentes interposées, F_1 et

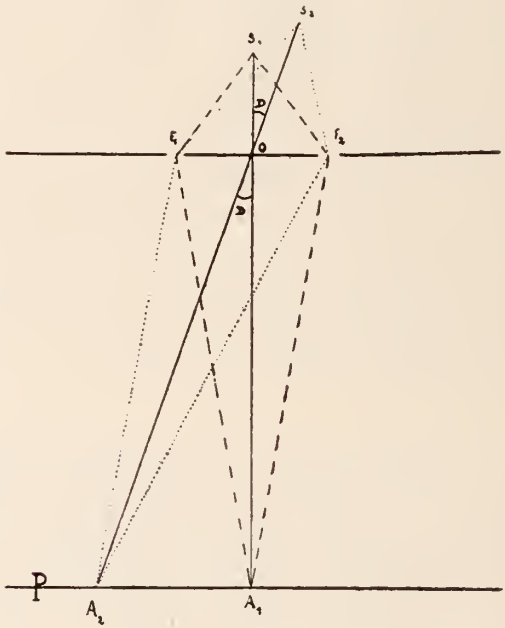


Fig. 1

F_2 (1). Les rayons lumineux arrivent à celles-ci après des parcours également longs; ils y sont donc de même phase. La diffraction lance alors la lumière en toutes directions par delà l'écran.

Considérons un plan, parallèle, par exemple, à celui des fentes. Partout sur ce plan se rejoignent deux rayons qui,

(1) Le plan de la figure est perpendiculaire aux fentes, dont F_1 et F_2 ne sont que les traces.

sauf en A_1, ont parcouru, depuis les fentes, des chemins inégalement longs ; issus de la même source, ces rayons interfèrent. En tout point où la différence de chemins est un multiple exact de la longueur d'onde et en A_1 où elle est nulle, les ondes se renforcent, on le sait : le point est brillant. En tout point où la différence est un nombre impair de demi-longueurs d'onde, les vibrations se neutralisent et l'éclairement est nul. Partout ailleurs il est plus ou moins vif, suivant que la différence de parcours se rapproche plus ou moins d'un nombre entier de longueurs d'onde.

Il y a donc relation entre la position des points lumineux ou obscurs et la longueur des ondes employées. C'est ce qui a permis de calculer la distance angulaire, par rapport au centre de symétrie des fentes, de deux points de même éclairement ; elle a pour valeur λ/d, où λ est la longueur d'onde et d l'écartement des fentes, que nous appellerons dans la suite l'*interfente*. La distance angulaire entre une frange brillante et une frange obscure — nous dirons désormais l'*interfrange* — a pour valeur $\lambda/2d$. On pourra donc la diminuer à volonté pour peu qu'on dispose d'interfentes suffisants.

Supposons maintenant que la source S_1 soit transportée en un point quelconque S_2, sans modifier la position des fentes. La frange brillante centrale, pour laquelle la différence de chemins entre les rayons concourants est nulle, vient de A_1 en A_2, se déplaçant d'un angle égal à celui dont a été déplacée la source lumineuse. Il en suit que lorsqu'on dispose à la fois deux sources ponctuelles de même intensité en deux points également distants du centre des fentes et formant avec lui un angle D, il se forme deux systèmes semblables de franges, décalés du même angle. Si — hasard ou ingéniosité ! — l'angle d'écart des sources avait précisément la valeur de l'interfrange angulaire $\lambda/2d$, toute frange, lumineuse ou obscure, due à la seconde source se superposerait à une

frange, obscure ou lumineuse, due à la première, et plus aucune ne se distinguerait : le champ serait uniformément éclairé.

Ce résultat peut être appliqué aux sources étendues. Le système de franges A_1 cesserait de se distinguer, disions-nous, parce que lui serait superposé un autre système produit par un point lumineux distant de $\lambda/2d$. Il pourrait donc y avoir oblitération des franges dans le cas d'une source étendue si à chacun de ses points en correspondait un autre, et un seul, à cette distance angulaire. Tel serait évidemment le cas d'une source rectangulaire dont les côtés seraient parallèles aux deux fentes et dont les bords extrêmes feraient avec le milieu de l'interfente un angle λ/d. Ce serait non moins évidemment le cas si ces mêmes bords faisaient avec le centre O des angles de $2\lambda/d$, $3\lambda/d$...

Dès 1890, la loi fut soumise à l'expérimentation par le professeur Michelson. La longueur d'onde était de 0,55 micron, l'interfente de 45 mm. Comme source, on employait une fente de largeur réglable, placée à 10 mètres des fentes. Les franges, d'abord très nettes pour une source très fine, devinrent moins distinctes quand la source avait 8 centièmes de mm. de largeur ; à 14 centièmes, elles s'estompaient entièrement. Si l'on continuait à élargir la fente-source, les franges reparaissaient clairement quoique sur fond plus brillant, pour s'évanouir à nouveau et reparaître à intervalles réguliers des ouvertures de la source. L'expérience était concluante et l'on admit que la largeur angulaire d'une source rectangulaire dont les franges s'oblitèrent pour un écartement d des fentes est donnée par la formule $D = n\lambda/d$, où n est l'ordre de disparition.

Telle quelle, la loi ne pouvait encore être appliquée aux étoiles, car elles ne réalisent pas parfaitement les conditions de l'expérience. Elles ne présentent pas en effet

la forme de fentes rectangulaires, mais sans doute une forme très approximativement sphérique. D'autre part, il est possible que leur éclairement ne soit pas uniforme, mais décroissant du centre à la périphérie. Dès son mémoire de 1890, Michelson rencontrait ces difficultés, et les soumettait à une analyse extrêmement poussée. Il établit ainsi que les diamètres des sources circulaires, pour les effacements successifs des franges, étaient donnés par les formules : 1,22 λ/d ; 2,24 λ/d ; 3,26 λ/d ; 4,26 λ/d.... Si par ailleurs l'éclairement n'était pas uniforme, et qu'il suivît par exemple la loi de décroissance de l'éclairement solaire, ces résultats devraient être augmentés de 17 %.

Un procédé de mesure directe du diamètre des étoiles était donc possible. En laboratoire, on avait augmenté la largeur d'une source artificielle jusqu'à lui faire atteindre une valeur fixée par les conditions de l'expérience et les franges avaient disparu. Dans l'observation, voici comment il faudrait procéder. Adaptant à l'objectif d'une lunette un écran opaque percé de 2 fentes mobiles, on ne laisserait parvenir au foyer que deux pinceaux lumineux, symétriques par rapport à l'axe optique. Ceci fait, on aurait à augmenter artificiellement l'interfente jusqu'à une première extinction des franges, et le diamètre de l'étoile serait $D = 1,22\ \lambda/d$ (1), où d est l'écart des pinceaux de lumière admis à l'objectif.

Restait une dernière difficulté. D'après ce que nous avons vu, pour un même interfente, la disparition des franges peut être produite aussi bien par une source étendue d'angle déterminé que par un système de deux sources ponctuelles faisant entre elles un angle de moitié moindre. A quoi bon dès lors appliquer le procédé aux étoiles ! Si même l'on réussissait à provoquer l'extinction des franges — et y réussirait-on? — il faudrait prouver en-

(1) Il serait $D = 2,24\ \lambda/d$,... pour les extinctions ultérieures. Mais, dans le cas des étoiles, celles-ci sont pratiquement inobservables.

core que l'étoile observée n'était pas un binaire extrêmement rapproché comme ceux qu'aucun instrument actuel n'arrive à séparer. Heureusement, la largeur angulaire des étoiles doubles varie avec les plans par rapport auxquels on les considère : elle est maxima dans le plan qui contient les deux composantes, minima pour tout plan perpendiculaire. Dès lors, si l'on obtient disparition des franges d'une étoile, il faudra, en maintenant l'interfente, faire tourner les fentes dans leur plan autour du centre O ; si l'étoile est double, les franges reparaîtront immédiatement puisque la largeur angulaire de la source aura varié ; si l'étoile est simple au contraire, l'extinction persistera.

Le problème était résolu par une formule précise ; toutes les difficultés avaient reçu réponse ; et c'était à bon droit que Michelson terminait son étude de 1890 par ces lignes :

« L'application principale de la méthode décrite est la mesure des dimensions apparentes des sources de lumière très petites et fort éloignées telles que planétoïdes et satellites (sans excepter pour cela les corps plus volumineux), et la détermination des distances angulaires entre des étoiles doubles très serrées... Si parmi les étoiles les plus rapprochées, il en est une aussi grande que notre soleil, elle sous-tend un angle d'environ un centième de seconde d'arc, et l'interfente requis pour un angle aussi petit est de 10 mètres, largeur qui, si elle est entièrement hors question comme diamètre d'un objectif, est cependant réalisable dans un réfractomètre. Il n'y a d'ailleurs aucune improbabilité à ce que des étoiles offrent un angle plus considérable ; et gagner quelques connaissances certaines des dimensions réelles de ces astres éloignés paierait largement le temps, la peine et la patience qu'on aurait à consacrer à cette tâche. »

L'on n'avait pas attendu ce conseil de l'illustre physicien américain pour s'aventurer dans la voie qu'avait signalée Fizeau. En avril 1873, Stephan tentait l'expérience

à l'Observatoire de Marseille, avec un instrument qui permettait un interfente maximum de 65 cm. S'il avait connu la loi de Michelson, il aurait pu calculer que pour lui donner succès les étoiles devaient présenter des diamètres supérieurs à 21 centièmes de seconde d'arc. Il est possible que Stephan ne se fût pas découragé pour cela, puisque, à l'époque, tous les diamètres annoncés restaient problématiques. Toujours est-il qu'il essaya. Un beau soir, les franges disparurent soudain pour Sirius, et pour Sirius seulement. « J'ai le ferme espoir, écrivit aussitôt Stephan à l'Académie des Sciences, que des expériences ultérieures montreront avec évidence que le diamètre de cette étoile n'est pas insensible et permettront d'en obtenir une évaluation approximative. »

Hélas ! la disparition était tout accidentelle : la lumière de Sirius, alors à l'horizon, avait été spécialement troublée au cours de son trajet atmosphérique. Bien plus ! Les phénomènes d'interférence, dans les observations ultérieures. ne disparurent jamais et ne furent même moins distincts pour aucune des étoiles observées. Aussi Stephan concluait-il en 1874 : « Le diamètre des étoiles ne peut être au plus que d'une faible fraction de 0″158 » (1).

Pour obtenir plus qu'un résultat aussi négatif, Michelson appliqua premièrement sa méthode aux satellites de Jupiter ; il trouva des valeurs très voisines de celles qu'avaient pu fixer d'autres procédés. L'année suivante, Hamy confirmait ce succès ; il put même obtenir le diamètre de Vesta, que Michelson n'avait pas réussi à évaluer. Hamy employait des fentes plus larges et plus allongées, après avoir démontré que, sous certaines conditions, il n'en résultait aucune modification des formules établies.

(1) Stephan eût dit plus exactement : une faible fraction de 0″212. Mais il ignorait le coefficient de Michelson (1,22) et prenait pour longueur d'onde moyenne 0,5 micron, tandis que nous avons pris 0,55.

Ceci se passe en 1898. Jusqu'en 1919 aucun essai ne paraît avoir été tenté sur les étoiles. Pourquoi cette longue attente ? On semble avoir cru que, bien avant de l'être par le diamètre apparent de l'étoile, l'oblitération des franges serait provoquée par les influences atmosphériques, si malfaisantes déjà dans l'observation directe. C'était se tromper, car, bien au contraire, les franges restent nettement visibles dans des conditions où l'observation télescopique elle-même est impossible ou infructueuse. Peut-être aussi, se basant sur les valeurs des diamètres stellaires *équivalents*, avait-on calculé de quel ordre devrait être l'interfente convenable pour les étoiles. Si l'on prend la plus élevée des valeurs précédemment données pour Bételgeuse, on aboutit à un interfente de plus de deux mètres, et c'était de quoi décourager alors les plus hardis. Cependant en 1890 Michelson avait suggéré l'emploi d'un réfractomètre, qui eût permis de ramener, dans une lunette de dimensions ordinaires, des faisceaux interceptés à des écarts considérables. Mais la suggestion n'avait pas été réalisée.

En ces dernières années, l'Observatoire de Mount Wilson fit installer un télescope géant de 40 mètres de foyer et 2 mètres 50 d'ouverture, bien fait pour raviver les espoirs des protagonistes de la méthode interférentielle, puisqu'il pourrait déterminer des diamètres de 55 millièmes de seconde. L'on s'empressa de s'en servir, et pour aucune étoile les franges ne disparurent.

Mais du moins, s'avisa-t-on, ce télescope pouvait-il séparer des binaires dont les composantes d'éclat sensiblement égal (1) formeraient un angle de 27 millièmes de seconde. Et il y en avait ! Au mois de janvier 1920, MM. Pease et Anderson se mirent à observer fréquemment

(1) Si l'éclat des deux composantes était notablement différent, les franges d'interférence ne disparaîtraient jamais ; elles passeraient par un minimum et l'on aurait à introduire dans les formules l'interfente qui y correspond.

l'étoile double Capella. A chaque séance, l'interfente requis pour l'effacement des franges et la position voulue de l'axe des fentes variaient insensiblement, ce qui donnait, comme au jour le jour, la distance des composantes et l'angle de position du système : de la sorte, l'orbite de Capella fut minutieusement déterminée.

On ne pouvait en rester là. La méthode interférentielle avait fourni ses preuves ; elle était de force à donner le diamètre des étoiles, si les instruments permettaient des interfentes plus grands encore. Mais pouvait-on songer à construire des télescopes plus considérables que le colosse de Mount Wilson et cela indéfiniment pour mesurer toujours des étoiles plus petites ? Il aurait fallu s'y résoudre peut-être si Michelson n'avait réalisé un dispositif ingénieux, proposé par Hamy, mais semblable, somme toute, à celui qu'il avait suggéré lui-même en 1890. L'artifice consiste à faire interférer, dans une lunette, des faisceaux lumineux interceptés à des distances quelconques par rapport à son ouverture. Dans ce but une poutrelle d'acier est adaptée à l'objectif. Elle supporte quatre miroirs dont les deux extérieurs, que l'observateur écarte à son gré symétriquement par rapport à l'axe optique, interceptent les rayons de l'astre observé et les réfléchissent sur les deux intérieurs, d'où les rayons gagnent le foyer par les voies habituelles. Appareil sensible s'il en fût, car la moindre flexion de la poutrelle, la moindre vibration des miroirs rendent toute interférence impossible. Certes de très ingénieux dispositifs de compensation ont été interposés, mais les conditions de l'expérience n'en restent pas moins extrêmement délicates.

Le premier interféromètre Michelson fut construit en 1920 ; il permet d'écarter de six mètres les miroirs extérieurs, qui s'éloignent insensiblement l'un de l'autre, entraînés par une vis sans fin que commande un petit

moteur (1) ; on l'adapte au grand réflecteur de Mount Wilson, le seul dont la masse puisse supporter un aussi lourd appareil complémentaire. Un second interféromètre est en construction, large de 16 mètres celui-ci, qu'aucune lunette ne devra supporter, mais qui en portera une lui-même, minuscule, de 30 centimètres d'ouverture. Ces chiffres montrent éloquemment les ressources et l'élégance du procédé (2).

(1) Ce dernier dispositif n'était malheureusement pas au point lors des premiers essais ; l'écartement des miroirs ne pouvait encore être produit de manière continue.

(2) Il faut revenir un moment à la théorie de la méthode, et préciser ce qu'on pourrait appeler les deux étapes de son mécanisme.

Deux points S et *s* d'une étoile (fig. 2), formant entre eux un angle D, tel que tout point *s* de la source ait un correspondant S et un seul, produisent au foyer d'une lunette deux systèmes de franges invariablement décalés d'un angle D′ égal à D.

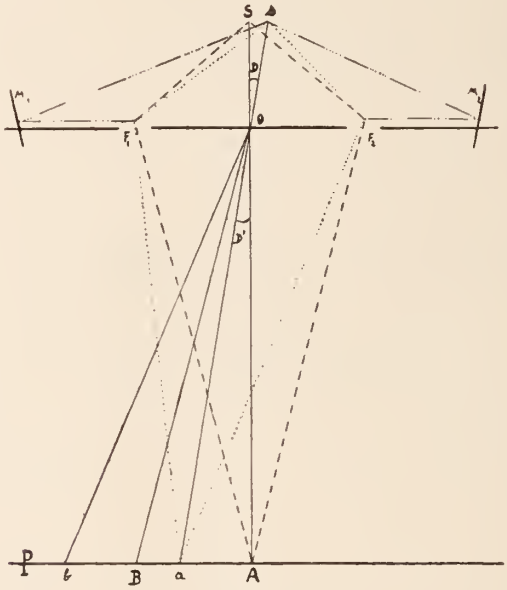


Fig. 2

Soient A et *a* les franges brillantes centrales respectives de chaque système, et B, *b* les franges noires immédiatement voisines. En écar-

Le 13 décembre 1920, après s'être assurés de la visibilité des franges sur β Persée et γ Orion, Pease et Anderson braquèrent l'interféromètre sur Bételgeuse. Avec un écartement de près de 2 mètres, les franges apparaissaient très clairement. A 2 mètres 50, elles étaient déjà moins distinctes et, pour un interfente de 121 pouces (308 cm.), elles étaient indiscernables. La contre-épreuve sur γ Orion les montrait encore nettement. Dès lors il n'était plus permis de mettre en doute la signification réelle de l'extinction pour Bételgeuse, et si, avec Michelson, on admet que sa lumière a pour longueur d'onde moyenne 575 millièmes de micron, on peut affirmer que son diamètre angulaire est D = 0″047 (1).

C'est le premier diamètre stellaire connu à cette approximation, par une méthode dont aucun élément ne puisse se justifier rigoureusement. L'honneur en revient presque exclusivement à M. Michelson. Nous l'avons retrouvé, en effet, à toutes les étapes de cette conquête scientifique,

tant les fentes F_1 et F_2, on ne change rien à l'angle D′; par contre, on diminue les interfranges angulaires (AOB ou *aOb*), mesurés, on le sait, par $\lambda/2d$. Ce premier artifice rapproche donc B de *a* et, si l'on arrive à superposer ces deux points, l'oblitération a lieu.

Lorsque la distance F_1F_2 *à l'intérieur même de l'objectif* ne varie plus, l'interfrange angulaire prend une valeur constante ; c'est le cas, par exemple, à Mount Wilson où les miroirs centraux sont fixés à 114 cm. l'un de l'autre ; la longueur focale étant de 40 m. 84, l'écart des deux franges brillantes consécutives est invariablement de 0,02 mm. Le rôle des miroirs extérieurs est alors de modifier l'angle D′ et de rapprocher ainsi *a* de B, devenu immobile. Les rayons passant par ces miroirs ont en effet parcouru respectivement les trajets $s\,M_1\,F_1$ et $s\,M_2\,F_2$ entre lesquels il y a une différence plus grande qu'entre les trajets directs sF_1 et sF_2 ; pour la ramener à zéro, il faut par delà les fentes une différence de chemins plus marquée aussi : *a* doit s'écarter de A, et comme l'écartement des miroirs peut être très grand, l'on arrive ainsi à superposer *a* sur B.

Ce nouvel aspect du phénomène n'en modifie pas cependant les lois et l'inter-miroir peut prendre dans les formules la place de l'interfente à l'objectif.

(1) Ce résultat, exact à 10 %, devrait être augmenté de 17 % si l'éclat de Bételgeuse variait à la surface comme varie celui du soleil.

importante et pleine de promesses, que le Président de la *Royal Astronomical Society* n'hésite pas à ranger parmi les six grands événements astronomiques de ces cent dernières années.

Connaissant les diamètres angulaires des étoiles, il est facile, nous l'avons vu, de calculer leurs diamètres linéaires, grâce à leurs parallaxes. Celle de Bételgeuse est approximativement de 0″017. Son diamètre serait donc de 2,7 fois la distance moyenne de la terre au soleil, soit plus de 400 millions de kilomètres. Transportée au centre de notre système planétaire, cette étoile géante comprendrait, outre notre soleil, les orbites de Mercure, de Vénus, et de la Terre ; sa périphérie se trouverait à mi-distance de l'orbite de Mars (1). Son pourtour équatorial dépasse 1.250.000.000 km. ; sa surface vaut 81.600 fois celle du Soleil et son volume (319.10^{10}) fois celui de la terre.

Ces dimensions sont considérables ; elles ne doivent cependant pas être exceptionnelles dans le monde stellaire si l'on en juge par celles de deux autres étoiles qui déjà ont été mesurées à Mount Wilson. Arcturus, de diamètre 0″022 et de parallaxe 0″095, doit avoir un rayon 50 fois plus grand que celui du soleil. Antarès a un diamètre angulaire de 0″040. Sa parallaxe n'est pas encore exactement connue. Si l'on fait choix de la plus forte des valeurs proposées, Antarès n'atteindrait pas aux proportions de Bételgeuse ; si l'on prend la moindre, elle lui serait supérieure, son rayon dépassant de 400 fois le rayon solaire.

Telles sont les dimensions réelles des étoiles. C'était déjà un noble délassement de les regarder par une nuit sereine, toutes petites dans leur éloignement. De les contempler, parsemées sans nombre dans l'immensité des

(1) Le diamètre de cette orbite est de 3,4 fois la distance moyenne de la terre au soleil.

cieux, se dégageait comme une sensation de la grandeur fastueuse du monde créé. Que sera-ce désormais si l'on réfléchit aux proportions véritables de ces points de lumière ? Chacun est plus volumineux que tout ce que nous connaissons ; chacun a sans doute essaimé son petit cortège de planètes qui l'encadrent majestueusement. Et puisque, dans l'espace indéfini, nous sommes peut-être, sur cette terre minuscule, les seules créatures capables de connaître ces merveilles, ce doit être notre occupation propre de chercher avidement à les scruter toujours de plus près, pour en plus admirer les beautés. La remarquable découverte de M. Michelson est faite pour y aider.

R. Lange.

Le comportement animal

Les effets de la lumière et de la pesanteur sur une chenille

—

Dans les sciences naturelles, plus que partout ailleurs, une théorie ne vaut que ce que valent ses preuves expérimentales. En Physiologie pourtant, un expérimentateur ne doit pas espérer que les résultats entraînent mathématiquement l'adhésion sans réserve de l'esprit. La multiplicité des facteurs qui interviennent dans la constitution d'un phénomène de cette sorte, l'inconnaissance où nous sommes encore de plusieurs d'entre eux et en particulier du plus important de tous, la Vie, ne donnent qu'une valeur problématique et par conséquent provisoire aux conclusions obtenues. Nous avons cependant le droit d'exiger d'une théorie, avant de l'accepter, qu'elle explique les faits expérimentaux mieux que ses devancières et qu'aucun de ces faits ne soit en contradiction manifeste ou déguisée avec les principes ou les hypothèses qu'elle a choisis.

Il est curieux de constater que des Naturalistes férus de mécanisme, pour qui donc des faits d'expérience devraient seuls compter, paraissent dédaigner ces principes élémentaires et vouloir soumettre la Nature à des conceptions aprioristes, croyant mieux servir ainsi la cause de la Science.

J. Loeb, par exemple, a formulé la théorie des Tropismes dans le comportement animal. Nombre de savants le considèrent comme un maître ; en quoi ils n'ont peut-

être pas tort. Mais à sa suite, sans presque d'examen ni de discussion, ils enregistrent comme définitives ses expériences. Ceci est moins heureux.

Vue d'un peu loin, la théorie loebienne est séduisante, à cause de sa simplicité ; ses expériences semblent probantes, parce que soigneusement sélectées. Aussi, pendant plus de vingt ans, elle bat son plein. Qu'un naturaliste circonspect émette quelques doutes sur sa valeur, on crie *haro* sur lui, en le traitant de vitaliste, c'est-à-dire, en somme, de spiritualiste, épithète qui doit le déshonorer à jamais. Et des adversaires de large envergure, comme Jennings, sont obligés, pour se faire lire, de déclarer qu'envers et contre tout, ils demeurent mécanistes, quoique leur opinion, basée sur de soigneuses expériences, les entraînerait plutôt hors de la conception matérialiste.

Et voici que, pourtant, l'on se rend compte que la théorie loebienne craque de tous côtés. Il semblerait qu'instruits par cette expérience, les hommes d'études dussent se montrer plus circonspects. Que non pas ! G. Bohn, qui a compris les faiblesses des Tropismes, invente la « polarité », théorie de même tendance que celle de Loeb, moins claire encore, peut-être, et moins vérifiée ; Buddenbrock, s'appuyant sur la « tonicité musculaire », ne fait que changer le problème de place sans sortir de l'axe matérialiste. Cependant les faits montrent clairement que des facteurs exclusivement matériels, et donc inéluctablement déterminants, ne suffisent pas à expliquer les phénomènes de la Vie, en l'espèce le comportement animal.

Nous en voudrions donner une preuve ici.

Une des expériences cruciales de J. Loeb concerne une petite chenille de papillon que cet auteur désigne sous le nom de *Porthesia chrysorrhaea*. Le nom officiel de ce Lépidoptère est *Leucoma phaeorrhaea Donovan* (1).

(1) La rectification a été faite dans *Novitates Zoologicae*, Journ. of Zool., edited by Lord Rothschild. Vol. XXIV, nº 2, 31 août

Cette chenille est très commune, trop commune, dans nos pays. Ses bourses soyeuses d'un blanc gris pullulent en automne aux intersections des branches d'arbres fruitiers, tels que pruniers, mirabelliers, etc.... ; elles contiennent d'innombrables sujets minuscules qui y dorment tout l'hiver et en sortent aux premiers rayons du printemps. Loeb les a étudiées d'une façon toute particulière et en parle de telle sorte que l'on est autorisé à croire qu'il les considère comme le type des animaux phototropiques positifs. Il les a citées dans la plupart de ses ouvrages sur la question des Tropismes (1).

Voici à peu près comment se résument ses expériences et leurs conclusions :

Si l'on place ces chenilles, prises à la sortie du nid et maintenues à jeun, à l'extrémité d'un tube à essai posé horizontalement sur une table, dans une chambre éclairée par une seule fenêtre, de façon que le grand axe de ce tube soit perpendiculaire au plan de la fenêtre, elles se dirigent toutes rapidement du côté de la fenêtre et se groupent à l'extrémité du tube où elles demeurent immobiles. Si l'on retourne alors le tube de 180°, elles renouvellent leur mouvement vers la lumière. Si le tube fait un angle avec le plan de la fenêtre, les chenilles, placées comme précédemment, se rassemblent à l'extrémité du tube la plus proche de la fenêtre. Si le tube est placé parallèlement à la fenêtre, elles s'éparpillent à sa partie supérieure. Si le tube est placé perpendiculairement à la

1917.—Le genre désigné par Loeb, sous le nom de *Porthesia Chrysorrhaea* a été scindé en *Arctornis Chrysorrheaa Fenssl* (vulg. *cul-doré*), et *Leucoma phaeorrhaea Donovan* (vul. *cul-brun*). La chenille du premier porte deux lignes parallèles longitudinales rouges sur le dos, celle du second, deux boutons orange seulement, sur les 9e et 10e anneaux. C'est celui-ci qui a servi aux expériences de Loeb et aux nôtres.

(1) Voir en particulier : *Studies in General Physiology*. Univ. Chicago Press, 1905. — *The dynamics of living matter*. Columb. Univ. Press, 1906. — *La conception mécanique de la vie*. Trad. par H. Mouton, Alcan, 1914.

fenêtre, mais de façon qu'un pinceau lumineux éclaire seulement son extrémité la plus éloignée de la source lumineuse, les animaux déposés à cette extrémité rampent directement vers la fenêtre et, sans hésitation, passent de la partie directement éclairée du tube dans celle qui ne l'est que par lumière diffuse, montrant ainsi, observe Loeb, que leur orientation est déterminée par la direction des rayons et non par des différences d'intensité de la lumière.

Le tube étant perpendiculaire à la fenêtre et les chenilles groupées à son extrémité du côté de la fenêtre, si l'on recouvre parmoitié le tube de ce côté avec une boîte opaque, on voit bientôt les animaux apparaître à la limite entre la partie sombre et la partie éclairée et s'y grouper « *at the top of the test tube* ». Loeb explique qu'ils y sont attirés par les rayons diffusés par les murs de la chambre. Mais dès qu'ils viennent à la partie éclairée, ils sont sollicités à nouveau par la lumière directe, d'où ils manifestent une tendance à ramper de nouveau dans la direction de la fenêtre. Mais alors, ils rentrent dans l'ombre opaque et reviennent en arrière. Finalement, ils se mettent en équilibre phototropique à la limite des deux zones, éclairée et sombre. Si le tube, placé perpendiculairement à la fenêtre, est divisé en deux parties, dont l'une, du côté de la chambre, est transparente, et l'autre, du côté de la fenêtre, est opaque, excepté sur une ligne longitudinale de 2 mm. de largeur, les chenilles posées à l'extrémité de la partie éclairée rampent vers l'extrémité de la partie sombre. Si cette partie, au lieu d'être tout à fait noire, était seulement dans l'ombre, elles se comporteraient de même, car ce qui les attire, ce n'est pas l'intensité lumineuse mais la direction des rayons.

Si, dans toutes ces expériences, il y avait plusieurs fenêtres au lieu d'une seule, le mouvement des chenilles s'opérerait vers la plus proche.

Si, enfin, des bourgeons frais d'arbres fruitiers sont

placés à l'extrémité des tubes de laquelle partent les chenilles et derrière elles par rapport à la source lumineuse, malgré l'intérêt que présente cet aliment de choix pour ces animaux affamés, ils s'en détournent pour aller à la lumière.

De cet ensemble de constatations, Loeb conclut à l'attraction impérative qu'exerce la lumière sur ces chenilles. Et d'expériences analogues dans des tubes où il observe que ces chenilles montent toujours vers l'extrémité supérieure, il déduit la répulsion géotropique que subissent ces animaux. D'où, en définitive, il lui semble pouvoir écrire : « Il m'a semblé qu'il serait possible de découvrir les lois physico-chimiques qui régissent les mouvements en apparence spontanés des animaux et que les mots *volonté animale* n'expriment que notre ignorance des forces qui imposent aux animaux la direction de leurs mouvements en apparence spontanés, d'une manière aussi rigoureuse que la gravité impose aux planètes leurs mouvements » (1). En l'espèce, pour les chenilles de *Leucoma phaeorrhaea*, les forces déterminantes du comportement sont, non pas, comme on pourrait le croire, un appétit aiguisé qui les incite à rechercher un aliment, mais du phototropisme positif qui les attire vers la lumière et du géotropisme négatif qui les repousse vers les extrémités supérieures des branches. Il se trouve que par hasard elles rencontrent en rampant dans la direction qui leur est imposée par ces forces des bourgeons nourriciers. Ce n'est qu'un heureux hasard.

Nous serions très incomplet et par conséquent injuste si nous laissions croire que Loeb n'a fait que ces expériences au sujet de ces chenilles. En particulier, il a étudié assez longuement l'action des rayons des différentes longueurs d'onde sur elles. Mais nous croyons pouvoir

(1) *La Conception mécanique de la vie*, p. 43. Trad. Mouton. Alcan, 1914, p. 43.

affirmer que celles que nous venons d'indiquer sont fondamentales et que les autres s'y ramènent. Il nous suffit donc de les examiner de près.

Arnold Pictet déjà les avait reprises (1), et estimait que Loeb avait commis des erreurs d'interprétation du comportement des chenilles. A son avis, le fait que les animaux observés étaient maintenus dans de longs tubes étroits était de nature à leur *imposer* leurs mouvements, que les parois lisses de ces tubes, substratum anormal, contribuaient à désorganiser. Ses propres observations conduisirent cet auteur gen. vois à penser que la lumière n'exerce pas d'action directrice sur ces chenilles et que ce qui les fait errer à l'aventure quand elles sont à jeun, c'est le besoin de trouver un aliment.

Nous avons repris et amplifié ces expériences sur *Leucoma phaeorrhaea*. Vers la mi-novembre, de nombreuses bourses remplies de minuscules sujets furent recueillies sur des mirabelliers et placées dans de grands bocaux de verre. Dans le but de commencer de suite des expériences, nous essayâmes d'amener ces animaux à sortir de leurs gîtes en les exposant à la chaleur d'un calorifère. Loeb déclare qu'il l'a fait. Des chenilles extraites de leurs nids furent soumises par nous à des températures printanières et même estivales sans rien manifester que de brefs mouvements d'impatience de dormeurs qu'on réveille. Aucune ne consentit à prendre le départ. Comme Pictet avait fait la même constatation que nous, nous n'insistâmes pas et attendîmes que les chenilles sortissent spontanément, ce qu'elles firent à partir du 9 mars. Nous pûmes alors observer que toutes, ayant quitté leurs bourses en quelques jours, se groupaient nettement en nappes serrées sur le côté des flacons exposé à la lumière. (La chambre n'avait qu'une seule fenêtre.)

(1) *A propos des tropismes.* Recherches expérimentales sur le comportement des insectes vis-à-vis des facteurs de l'ambiance. Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat., 3e sér., II, 423-550, 1905.

La série des conditions de nos expériences, accomplies méthodiquement toujours sur des chenilles à jeun (n'ayant jamais mangé) fut la suivante : en lumière diffuse, au soleil, dans l'obscurité, sur des branches fraîches dans les conditions naturelles. Nous avons voulu élargir ainsi les observations, estimant que celles de Loeb avaient été faites dans des conditions en général trop artificielles : on connaît mal les mœurs du tigre quand on n'étudie son comportement que dans les limites étroites d'une cage de ménagerie.

EN LUMIÈRE DIFFUSE

Nous avons d'abord examiné nos sujets dans des cristallisoirs et dans des tubes selon la méthode de Loeb.

Dans les cristallisoirs, placés à environ un mètre d'une fenêtre par temps couvert, nous avons semé des chenilles au hasard parmi des branches de mirabellier dépourvues de leurs bourgeons. Nous avons constaté que ces animaux rampent d'abord dans diverses directions, explorant les branches dans tous les sens. Lorsque la chenille atteint l'extrémité libre d'une branche, elle y demeure fixée par le pôle aboral, et, complètement dressée dans l'espace, en tâte pour ainsi dire toutes les directions avant que de redescendre. En fin de compte, la majorité des sujets expérimentés se groupe en nappe sur la paroi éclairée du cristallisoir. Cette expérience semble donner raison à Loeb en indiquant une action attractive de la lumière sur *L. phaeorrhaea*. Toutefois, l'action photique ne se présente pas comme une attraction impérative, mais comme un attrait agissant en l'absence d'autres sollicitations d'abord recherchées.

Ceci est d'ailleurs mis en évidence par le comportement d'une chenille dans un tube à essai (Fig. 1). La marche à la lumière de l'animal (indiquée en pointillé) montre

non point une trajectoire tendue vers la source lumineuse, mais un voyage d'exploration en zig zags.

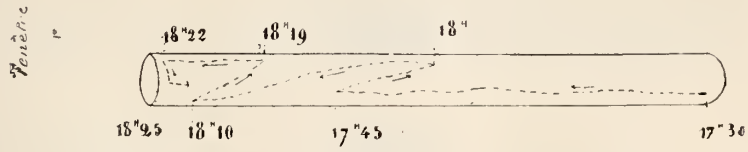


Fig. 1.

La Fig. 2, p. 394, nous fait voir avec évidence que la lumière présente moins d'intérêt pour ces chenilles que quelque autre chose qu'elles semblent rechercher. Loeb observait que dans ces tubes, *fermés du côté de la source lumineuse*, les chenilles s'accumulaient à cette extrémité et y demeuraient en repos jusqu'à ce que mort s'ensuivît. Des tubes ouverts sont loin de provoquer les mêmes résultats. Ici, il s'agit d'un tube horizontal posé par hasard sur un livre, son extrémité ouverte orientée vers une fenêtre. Ce tube est d'ailleurs muni vers son milieu d'un manchon opaque qui devait permettre de combiner les observations. On s'apercevra qu'après trois heures d'exposition, un certain nombre de chenilles n'ont pas encore quitté le point de départ, ce qui infirme singulièrement l'hypothèse de l'attraction mécanique impérative, et que, par contre, celles qui se sont mises à ramper, après être arrivées à l'extrémité libre du tube, l'ont quitté et non pas pour continuer leur progression en ligne droite, mais plusieurs au moins pour revenir en arrière, ce qui montre que la source lumineuse ne détermine pas leur direction de marche.

EN LUMIÈRE SOLAIRE

Un tube horizontal placé ainsi que le montre la Fig. 3, p. 395, nous fait voir qu'après plus de neuf heures d'exposition au soleil une notable partie des chenilles en expérience, placées en *a*, n'ont pas pris le départ. Celles qui se sont mises en mouvement l'ont fait individuelle-

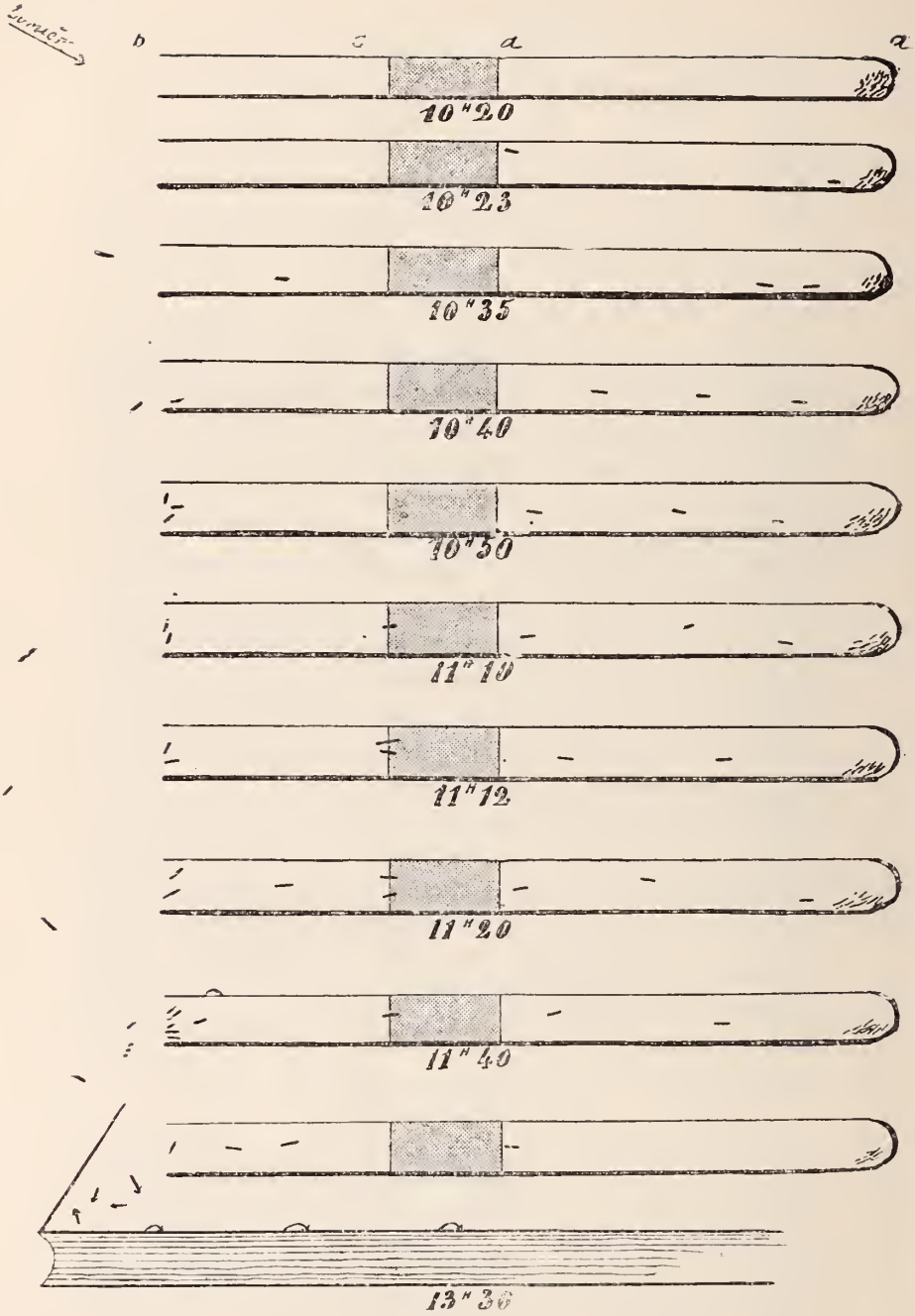


Fig. 2.

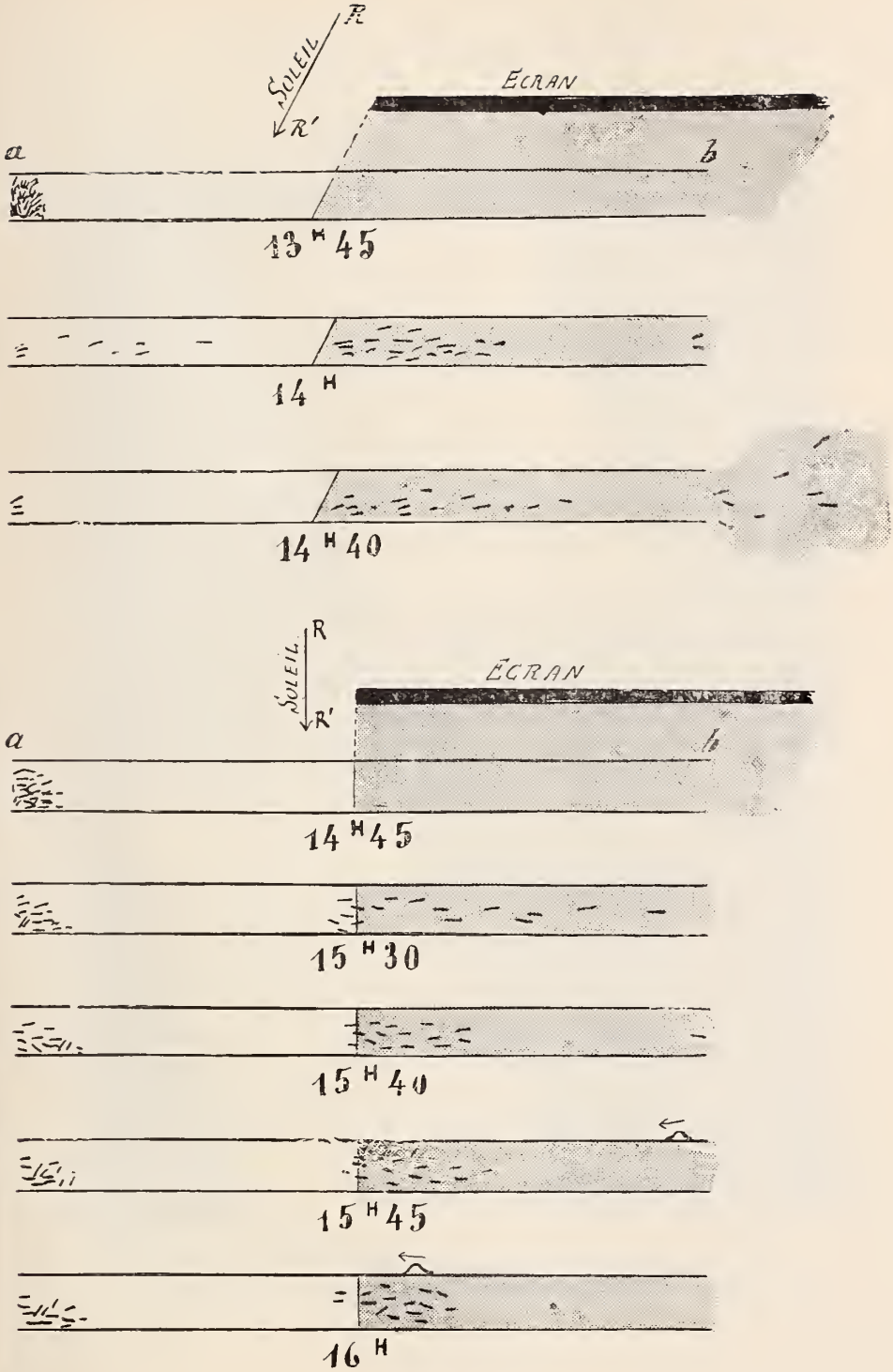

R
SOLEIL
R'
ECRAN
a
b
13 H 45
14 H
14 H 40
R
SOLEIL
R'
ECRAN
a
b
14 H 45
15 H 30
15 H 40
15 H 45
16 H

Fig. 3 et 4.

ment à des moments successifs, ce qui paraît indiquer l'absence de tracteur automatique agissant sur elles. Un certain nombre d'entre elles arrivées à l'extrémité ensoleillée du tube sont revenues en arrière, ce qui soulignerait l'inconstance du stimulus, si stimulus il y avait.

Une autre expérience, qui reproduit assez exactement une expérience de Loeb, signalée plus haut, nous a donné des résultats tout à fait différents de ceux qu'a obtenus ce savant. La Fig. 3 en montre le dispositif : un tube ensoleillé par moitié environ, l'autre moitié étant ombrée par un écran parallèle, est posé horizontalement. Ce tube est ouvert aux deux extrémités. Les chenilles sont placées en *a*. Si le phototropisme jouait, ces animaux devraient s'accumuler au plafond du tube. Nous voyons qu'au contraire ils rampent dans l'ensemble vers l'ombre et que, parvenus à l'extrémité du tube, ils continuent leur mouvement, non pas en ligne droite, mais en éventail. On voit combien Pictet avait raison quand il suggérait que dans les expériences loebiennes c'est le tube qui impose aux chenilles leur direction de marche rectiligne.

La Fig. 4, p. 391, donne des résultats analogues avec un dispositif un peu modifié.

Et en effet, supprimons le tube et posons une chenille sur un carré de soleil entouré d'ombre, un matin de printemps, à 9 heures, à un moment où le soleil n'est pas encore très chaud, pour éviter la possibilité d'une action thermotropique (Fig. 5). Nous voyons que cet animal ne se dirige pas en sens inverse des rayons solaires mais gagne l'ombre où sa trajectoire enchevêtrée indique nettement un voyage de recherches sans direction déterminée.

DANS L'OBSCURITÉ

Il était extrêmement intéressant de savoir comment ces chenilles se comporteraient dans l'ombre opaque. Si en

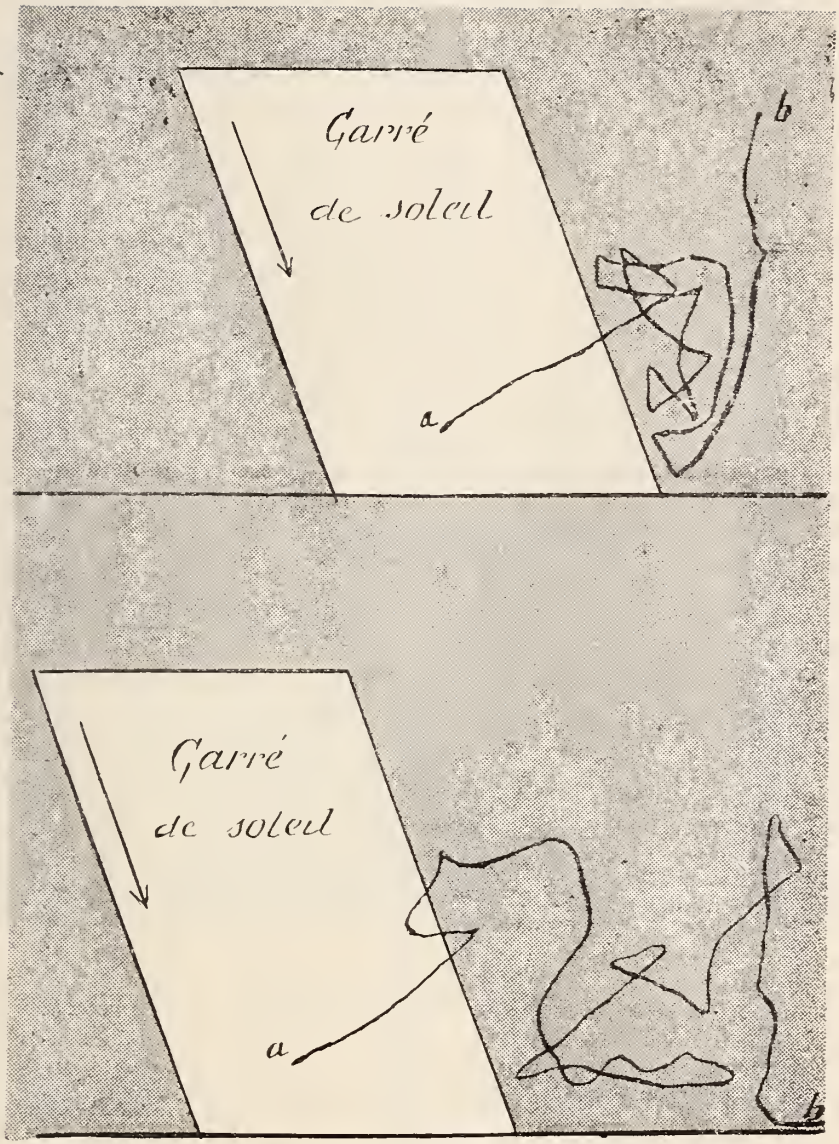


Fig. 5.

effet, la théorie des tropismes est vraie, en l'absence de stimulus lumineux, elles devraient être frappées d'immobilité. Or, placées dans des tubes fermés ou ouverts, à une extrémité fermée de ces tubes qui furent ensuite maintenus dans un cabinet noir pendant 24 heures, ces chenilles ont rampé comme si elles eussent été en lumière, cherchant évidemment quelque chose. Du tube ouvert plusieurs même sont sorties pour une destination inconnue.

Nous avons voulu donner plus d'ampleur à cette expérience et l'avons tentée de la façon suivante (Fig. 6). Une boîte complètement percée d'un trou de dimensions exactes pour laisser passer une branche de mirabellier avec ses bourgeons, fut ensuite posée sur un verre d'eau où la branche trempait. Un paquet de jeunes chenilles de *L. phaeorrhaea* à jeun avait été préalablement déposé en *a*. Chaque jour, deux fois, pendant dix jours de suite, leurs positions étaient relevées, matin et soir, toutes précautions prises pour qu'elles ne subissent pas l'action de la lumière qui, à la rigueur, aurait pu agir par induction. Voici le tableau de ces observations :

28 mars, 18 heures. — Les chenilles sont posées en *a*.
29 mars, 2 h. et 17 heures. — Situation inchangée.
30 mars, 9 heures. — Une chenille en *a'*.
30 mars, 17 heures. — Une en *a''*, deux en *c*.
31 mars, 9 heures. — Une chenille en *a''*.
31 mars, 18 heures 30. — Une en *a'*, une en *d*.
1er avril, 9 heures. — Une en *a''*, une en *d*, une en *e*.
1er avril, 17 heures. — Même situation, plus une en *f*, sur la paroi verticale de la boîte.
2 avril, 13 heures. — Quelques-unes en *a*, une en *h*, un paquet en *b* et en *a'*.
17 heures 30, le même jour. — quatre mangent le bourgeon *k*, trois sont sur le bourgeon *m*, une en *p*, une en *a'*, quelques-unes encore en *a*.
3 avril, 10 heures. — Même situation qu'hier soir. En plus, une en *r* sur le fond de la boîte.
3 avril, 17 heures. — Six en *k*, une en *s* sur le fond de la boîte. Parmi celles qui sont en *k*, une a fortement grandi (6 mm.). Les deux bourgeons *c* et *m* sont complètement mangés.
1er avril, 11 heures. — Deux en *a*, une en *t*, une en *v*. Toutes

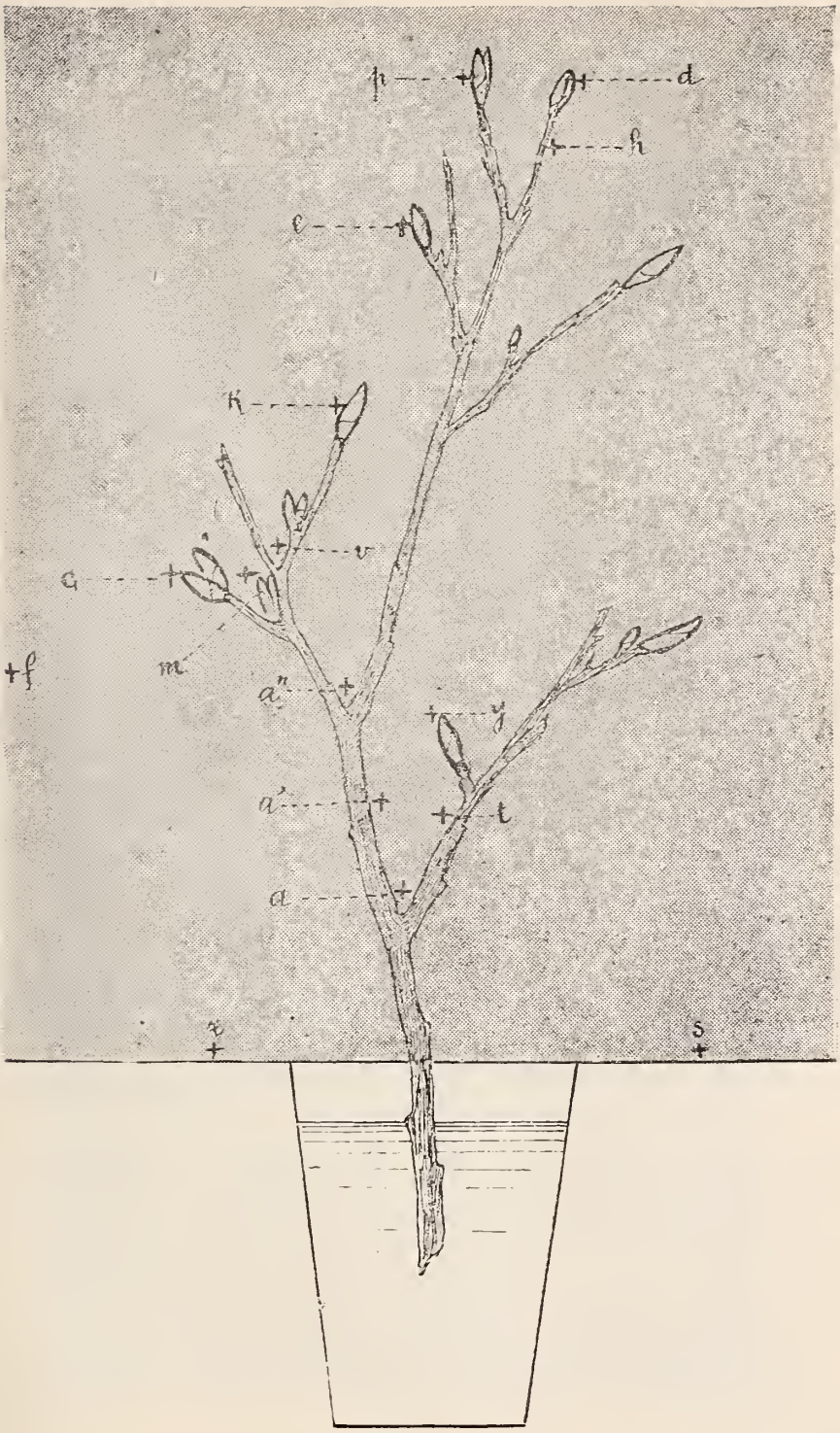


Fig. 6.

les autres, moins trois qui sont dans le fond de la boîte, sont en *k*.
5 avril, 15 heures. — Même situation générale qu'hier soir.
6 avril, 13 heures. — Même situation générale qu'hier. En plus, chenille en *y*.

La conclusion s'impose : en l'absence de tout stimulus lumineux, des chenilles à jeun se rendent aux bourgeons pour les dévorer. La lenteur relative de leur mise en mouvement a l'avantage de nous montrer que l'action géotropique n'entre pour rien dans leur comportement.

DANS LA NATURE

Nous avons coupé, le 23 mars, des paquets de branches de mirabellier formant des bouquets assez touffus qui puissent permettre l'examen de la marche des chenilles. Ces bouquets, maintenus à l'humidité, dans des vases, ont été renouvelés au fur et à mesure des besoins et constamment tenus à l'air libre, jour et nuit, de façon à se trouver dans les conditions naturelles. Des paquets de jeunes chenilles de *L. phaeorrhaea* à jeun, à peine sorties du nid, furent placés, vers 13 h. 1/2, en divers embranchements. Elles mesuraient alors 3 mm. de long. D'un de ces points de départ, elles se dirigent en groupe vers une ramification voisine longue d'environ 5 cm. orientée vers le soleil et en pleine lumière, puis suivant une ramification secondaire, très courte et terminée par un bourgeon sur lequel elles s'accumulent. Après essai infructueux pour y trouver place, un certain nombre d'entre elles redescendent au prochain croisement et remontent le long de la ramification pour venir s'établir sur un autre bourgeon presque à son extrémité. Quelques-unes, au lieu de prendre la ramification, remontent le long de la branche principale et s'arrêtent pour suivre d'autres ramifications supérieures perpendiculaires à la direction des rayons lumineux. Plusieurs enfin redescendent. Vers 15 h. il y a sur les branches une assez grande agitation : des chenilles montent, les autres descendent. Le lende-

main, nous les trouvons réunies en nappes inertes sur certaines branches ou autour des bourgeons. Vers 13 h. elles gagnent des bourgeons qu'elles commencent par examiner à la base, semblant hésiter, chercher un point de moindre résistance, redescendent peu à peu, remontent, jusqu'à ce qu'enfin elles se décident à manger, le corps parfaitement immobile. Vers 15 h. il y a un va-et-vient de chenilles. A 16 h. il ne reste plus trace d'aucun groupement, toutes les chenilles sont en marche ou occupées à manger. Un bourgeon assez élevé situé à l'ombre est attaqué par cinq ou six d'entre elles.

Le lendemain, temps gris, il fait très frais et il vente. Les toiles sont, le matin, renforcées et étendues. L'ensemble des chenilles se tient sous la tente. Quelques-unes seulement sont en mouvement dans tous les sens. Presque tous les bourgeons des branches ont été attaqués, excepté les plus élevés. Les chenilles mesurent actuellement 7-8 mm. de long.

Le lendemain, même temps, même comportement.

Le jour suivant, le même temps sans soleil continuant, nous plaçons un bouquet de branches dans une chambre à 17° C. Un certain nombre de chenilles quittent les bourses, vont et viennent le long des branches. Il y a en particulier une très grande activité sur une forte branche tournée dans l'ombre du côté opposé à la fenêtre.

Le jour suivant, il fait un beau temps ensoleillé. Des chenilles se promènent, plusieurs bourgeons sont attaqués. Cependant le gros de la troupe demeure sous une tente, voisine pourtant de magnifiques bourgeons.

Nous n'avons pas, dans les jours qui suivirent, fait d'observations nouvelles, si ce n'est que nous remarquâmes une activité fébrile manifestée par nos sujets, et par tous, un court moment avant un orage.

De ces expériences et constatations et de beaucoup d'autres qu'il serait sans doute fastidieux de relater ici en détail, nous avons cru pouvoir tirer les conclusions

suivantes, nettement à l'encontre d'un phototropisme mécanique impératif s'exerçant sur les jeunes chenilles de *Leucoma phaeorrhaea*. En tube étroit horizontal, ces chenilles rampent incontestablement vers la lumière ou vers plus de lumière, d'une façon rectiligne dans l'ensemble, mais souvent sinueuse et hésitante dans le détail. Sorties du tube, elles divergent en éventail sans souci apparent de la direction des rayons lumineux : elles semblent plutôt alors influencées dans le choix de leur direction par les lignes saillantes du substratum qu'elles suivent assez régulièrement.

En tube vertical, elles montent d'une façon plus ou moins rectiligne et plus ou moins rapidement. Arrivées à l'extrémité ouverte supérieure, ou bien elles redescendent le long du tube, ou, plus généralement, elles montent sur la surface contre laquelle ce tube est appuyé, et ceci en divaguant dans tous les sens.

Sur une surface horizontale ces chenilles décrivent des trajectoires compliquées déterminées sans doute par les aspérités du sol, sans aucun rapport avec la direction des rayons lumineux.

Si, dans un tube, elles rencontrent une partie assombrie, elles la traversent. Si elles rencontrent un champ absolument opaque, elles se refusent à y pénétrer.

Maintenues dans un tube absolument obscur, elles l'explorent. Placées sur des branches dans l'obscurité complète, après un temps assez long, elles montent aux bourgeons et les dévorent.

Dans la nature, sur des branches, elles montent d'abord de leurs bourses vers la lumière. Si elles n'y trouvent pas de bourgeons, elles redescendent dans la lumière et, en fin de compte, errent dans les parties sombres.

En résumé, l'animal qui vit sur des branches d'arbres et passe l'hiver dans des bourses placées aux intersections de ces branches, semble chercher, par l'action de la mémoire de l'espèce, quand il est à jeun, le côté éclairé

au-dessus de lui. Si ce côté ne donne rien, après exploration il redescend et cherche sans paraître s'inquiéter de la lumière.

On peut donc penser que c'est la loi de la faim, c'est-à-dire de *l'intérêt* qui domine le comportement de ces chenilles. Elles ont une certaine satisfaction à se trouver à la lumière, mais la lumière n'exerce pas sur elles une *attraction* impérative. Elles ont une tendance à monter, une habitude ancestrale peut-être, mais assurément pas une force mécanique invincible. Leurs errements sont des gestes physiologiques d'êtres vivants cherchant leurs moyens d'existence jusqu'à ce qu'ils les aient trouvés. Il ne semble donc pas qu'il y ait lieu d'employer à leur sujet des termes de phototropisme et de géotropisme dans le sens loebien.

MAURICE MANQUAT,
Dr ès sciences naturelles.

LES

Fonctions motrices du cerveau

Nos connaissances sur les fonctions motrices du cerveau sont de date relativement récente ; c'est en 1870 que Fritsch et Hitzig en donnèrent la première démonstration expérimentale. Ils constatèrent, en effet, que l'excitation électrique d'une circonvolution cérébrale du chien appelée le gyrus sigmoïde provoquait, dans les membres du côté opposé, des mouvements dont le siège et la modalité étaient en rapport avec des points déterminés du manteau cérébral. Il était classique, à cette époque, d'affirmer que la surface du cerveau n'était pas irritable, et que tout le manteau cérébral était fonctionnellement équivalent dans ses différentes parties.

Le point de départ de la découverte de Fritsch et Hitzig est dû à un fait observé par ces physiologistes : ils avaient constaté, en plaçant chez l'homme des tampons reliés à une pile, que le passage du courant galvanique à travers la partie postérieure de la tête produisait des mouvements des yeux ; ils en avaient conclu que l'électricité, à la surface du cerveau ou dans ses parties internes, avait mis en activité des régions nerveuses commandant aux nerfs moteurs de l'œil. Pour vérifier cette conclusion, après avoir mis à nu le cerveau d'un chien, ils portèrent leurs électrodes sur les différentes régions des hémisphères cérébraux, ils obtinrent des réactions motrices lorsqu'ils arrivèrent sur le gyrus sigmoïde, petite circonvolution située à la partie antérieure du cerveau.

On a longtemps tardé à constater ce phénomène, qui paraît actuellement si facile à mettre en évidence. Le cerveau du chien est comparable au point de vue de sa forme à une poire, dont la partie la plus facilement accessible par la trépanation sont les segments moyen et postérieur ; aussi, c'est toujours sur cette partie qu'ont porté les investigations ; mais toute cette étendue considérable est inexcitable ; si, comme l'ont fait Fritsch et Hitzig, on interroge la partie la plus effilée ou antérieure des hémisphères, on arrive au gyrus et on obtient les résultats attendus. Ce sont des contractions musculaires intéressant, si l'excitant employé est faible, un groupe musculaire circonscrit, les muscles extenseurs et adducteurs du membre antérieur, par exemple, ou ses fléchisseurs et rotateurs. Par cette méthode, certains petits territoires de l'écorce cérébrale, auxquels Fritsch et Hitzig donnèrent le nom de centres moteurs, furent déterminés tout d'abord pour les organes moteurs des membres, de la tête et des yeux. Si l'on augmente l'intensité de l'irritant, l'excitation se propage, s'irradie aux centres moteurs voisins, les secousses musculaires obtenues se transforment en mouvements convulsifs, dont l'étude a été faite de façon complète par François Franck et Pitres.

Le cerveau étant essentiellement constitué de cellules nerveuses, qui représentent la majeure partie de la substance grise, et de prolongements cylindraxiles de ces cellules, les fibres nerveuses, qui par leur assemblage forment la substance blanche, Fritsch et Hitzig se posèrent la question de savoir quelle était, de ces deux éléments du tissu cérébral, la partie vraiment motrice. Après avoir déterminé le siège exact du centre moteur d'un membre, ils enlevaient, au scalpel, la substance grise et ils furent les premiers à observer des troubles de la motilité dans le membre correspondant, des phénomènes de déficit sur lesquels pendant longtemps les physiologistes discutèrent beaucoup ; le chien opéré marchait, mais il utilisait

avec peine le membre intéressé ; il glissait facilement, faisant reposer sur le sol la face dorsale de la patte, la force du membre était très diminuée. Ces expériences d'ablation apportaient une donnée nouvelle : le rôle prépondérant de la cellule nerveuse sur la fibre nerveuse, donnée qui fut confirmée par François Franck. Cet expérimentateur démontra que l'excitation de la fibre dépourvue de la cellule produisait une réponse musculaire qui ne durait que le temps de l'excitation, tandis que l'irritation de la cellule intacte évoquait une réponse qui survivait à cette excitation pendant un temps assez long. Les phénomènes moteurs produits par l'irritation du cerveau furent donc attribués à l'écorce, siège des cellules pyramidales ; celles-ci envoient l'influx nerveux aux muscles par l'intermédiaire de leur prolongement cylindraxile et d'un deuxième neurone situé dans la substance grise de la moelle épinière.

On discuta beaucoup plus sur la nature exacte des troubles paralytiques observés après l'ablation des territoires corticaux moteurs ; Fritsch et Hitzig, tout en attribuant la paralysie à la disparition du gyrus moteur, ne manquèrent pas de faire remarquer que les troubles ressemblaient singulièrement à la démarche de l'ataxique, c'est-à-dire du sujet dont les membres sont insensibles aux stimulants extérieurs. Le chien auquel le gyrus a été extirpé rappelle par sa démarche l'animal dont les nerfs sensibles d'une patte, qui se rendent de là à la moelle épinière par l'intermédiaire des racines postérieures médullaires, sont altérés. Dès leurs premières expériences, Fritsch et Hitzig émettaient cet avis que le chien opéré de la sorte n'avait plus qu'une conscience imparfaite des états ou positions du membre intéressé. Sur un tel animal, les troubles sensibles paraissent coïncider avec la paralysie ; on remarque que l'extrémité intéressée dérape sur un sol glissant ; lorsqu'elle est plongée dans l'eau froide l'animal ne réagit pas, la sensibilité thermique est profon-

dément altérée ; il en est de même des autres sensibilités ; quand on lui impose des exercices difficiles, les mouvements deviennent maladroits, la marche sur un grillage étroit n'est plus possible, la patte tombe entre les barreaux et le chien ne peut plus la retirer comme il le ferait s'il était normal ; il trébuche dans la descente de l'escalier ; bref, il paraît ne plus pouvoir utiliser les impressions tactiles et musculaires.

L'interprétation de ces troubles moteurs est très délicate. Il fut longtemps difficile d'affirmer si l'on était en présence de phénomènes paralytiques consécutifs simplement à la destruction de cellules cérébrales motrices ou à la disparition de territoires sensibles du cerveau chargés de renseigner le sujet sur l'état de contraction des muscles.

La sensibilité en effet exerce sur la motricité une influence capitale, elle règle le degré de contraction des fibres musculaires, et régularise le mouvement des membres ; toutes les fois qu'un muscle entre en activité, les terminaisons spéciales de certains nerfs sensibles situées dans la profondeur de cet organe contractile sont impressionnées et elles envoient une excitation, par des fibres nerveuses particulières, aux centres supérieurs qui, par voie réflexe, règlent l'intensité de la contraction, et relâchent les muscles antagonistes. Une des fonctions maîtresses des nerfs de sensibilité d'une région consiste à régler la motricité de cette région et particulièrement l'état de contraction soutenue que présentent les muscles, le tonus comme on l'appelle ; ce tonus est entretenu non seulement par les filets nerveux moteurs qui commandent directement la contraction de la fibre musculaire, mais aussi il résulte de l'action simultanée des filets nerveux sensibles comme Brondgeest l'a montré depuis bien longtemps. Si, pour fixer les idées, on réduit le système du mouvement réflexe à deux neurones dont les éléments actifs soient la cellule motrice située dans la moelle épinière et la cellule sensible dans le ganglion rachidien, on

peut obtenir la cessation de l'état de tonus et la paralysie en coupant les prolongements cylindraxiles qui vont des cellules motrices aux membres, ou bien encore en sectionnant les racines postérieures ; dans les deux cas, le relâchement des muscles sera obtenu ; l'âne dont les lèvres sont paralysées à la suite de la section de leur nerf sensible, le trijumeau ou nerf de la cinquième paire, et qui ne peut s'emparer de son avoine, malgré l'intégrité du nerf moteur des lèvres, est un exemple démonstratif de l'action des nerfs sensibles sur le mouvement.

Magendie (1) avait observé déjà cette influence de la sensibilité d'un organe sur le mouvement de cet organe : « il est bien vrai que le nerf facial est le nerf moteur de la face, puisque sa section entraîne la perte de tout mouvement dans cette partie ; mais, par une circonstance que je serais presque tenté d'appeler bizarre, le nerf facial perd l'exercice de ses propriétés motrices dès l'instant où la cinquième paire est coupée, bien qu'il ne reçoive pas de la cinquième paire ses propriétés de nerf moteur ».

Magendie (2) a observé un phénomène du même ordre sur le lapin : « Voyez l'attitude de cet animal. Il a l'oreille droite renversée et pendante vers la nuque, la gauche au contraire est dressée et même inclinée vers le front ; elles sont toutes deux dirigées en sens inverse. Voici un autre lapin dont l'attitude est parfaitement la même. Il a également l'oreille droite renversée en arrière et l'oreille gauche penchée en avant. Ces animaux ont-ils donc l'un et l'autre été soumis à la même expérience ? Non, car l'un de ces lapins a la sensibilité de la face intacte, tandis que l'autre est paralysé de la sensibilité dans toute une moitié de la face. C'est que chez le premier j'ai coupé la VIIe paire et chez le second la Ve. La similitude des résultats dépend ici de cette circonstance physiologique

(1) Magendie, *Système nerveux*, 1841. II, 137.
(2) Magendie, *loc. cit.*, I, 255.

fort curieuse que ces deux nerfs s'influencent au point que l'un par la perte de ses propriétés sensitives prive l'autre de ses propriétés motrices. » Claude Bernard (1), en répétant ces expériences a vu que l'organe anesthésié « semblait avoir perdu complètement sa mobilité ». Nous possédons actuellement un grand nombre de faits de ce genre, qui montrent bien les relations étroites existant entre la motricité et la sensibilité, et les troubles moteurs observés par Fritsch et Hitzig ont apparu à beaucoup d'observateurs comme devant avoir même signification que les faits rapportés dans ces observations de Magendie.

Des physiologistes comme Schiff, ont soutenu que l'ablation du gyrus, de cette zone prétendue motrice, rendait les animaux semblables à ceux dont les cordons médullaires postérieurs, conducteurs de la sensibilité tactile, ont été lésés ; ces êtres ont perdu la notion, la conscience de la position de leurs membres, et pour Schiff, ils présentent une ataxie motrice sans véritable paralysie.

Cette opinion fut renforcée par la découverte en d'autres régions du cerveau de territoires qui perçoivent les impressions sensorielles. Une de ces sphères sensorielles, la mieux connue, sur laquelle viennent s'épanouir les fibres du nerf optique, est située dans le lobe occipital, au pôle postérieur de chaque hémisphère. A ce niveau, les fibres de chaque rétine viennent se projeter et l'enlèvement de cette région produit non seulement la perte de la vision, mais encore celle des souvenirs visuels, des images anciennes des objets accumulés en ce lieu, la cécité psychique. Aussi, un de ceux qui se sont le plus livrés à l'étude approfondie de la sphère visuelle, Munk, a-t-il soutenu que la zone motrice du gyrus, ou zone sensitivo-motrice comme il l'appelait, n'était qu'une sphère de sensibilité générale, un agrégat de sphères

(1) Claude Bernard, *Système nerveux*, II, 70.

sensitives où s'accumulaient les images de représentations de mouvements produites par les sensibilités tactile, musculaire, articulaire, tendineuse et osseuse ; Munk admettait que toute la sensibilité superficielle et profonde du côté opposé du corps venait se réfléchir en cette région, la sphère sensitive du corps, tout de même que les fibres des rétines concourent dans la sphère visuelle, qu'il comparait à une véritable rétine dans l'écorce du cerveau. Beaucoup de physiologistes ont partagé cette manière de voir, et ils pensaient qu'il y avait une ressemblance étroite entre les mouvements des globes oculaires produits par l'excitation de la sphère sensorielle de la vision et les phénomènes moteurs consécutifs à l'excitation de la région sensitivo-motrice du gyrus sigmoïde.

Fritsch et Hitzig, tout en admettant l'influence de la sensibilité sur l'apparition des troubles moteurs, avaient cependant mis en évidence la paralysie proprement dite dans une observation disposée de la façon suivante : un chien à qui on avait enlevé le gyrus gauche, était suspendu dans un hamac de toile perforé de quatre trous, qui laissaient passer librement les extrémités ; en approchant une aiguille de chaque patte, l'animal faisait un mouvement de retrait du membre sain, mais il ne pouvait retirer la patte droite correspondant aux centres enlevés, qui restait complètement relâchée, et cependant le chien suivait l'aiguille du regard en gémissant et en aboyant ; il réagissait par des mouvements d'ensemble des quatre extrémités, mouvements comparables aux mouvements de natation ou de course, mais on n'observait jamais chez lui un mouvement de retrait de la patte malade comparable à une réaction motrice volontaire ; de même, si avant l'ablation du gyrus on avait dressé l'animal à tendre la patte au commandement, il était devenu incapable d'effectuer cet acte de volonté.

On admettait donc, à la suite de ces observations consécutives à l'ablation ou à l'excitation du gyrus, que dans

ce petit territoire cortical devaient exister deux éléments distincts au point de vue fonctionnel, les uns constituant l'origine des faisceaux nerveux pyramidaux, en rapport avec les muscles, les autres en relation avec les fibres sensibles du corps ; mais, il paraissait impossible de les isoler par l'expérimentation, et de voir la part que les uns et les autres prenaient respectivement dans l'acte moteur : ils sont en effet mélangés dans l'écorce chez les animaux utilisés dans les expériences et la méthode de l'ablation qui les supprime tous les deux est impuissante à résoudre la question. Du reste, les auteurs classiques actuels renoncent à établir une démarcation entre la sensibilité et la motricité du gyrus.

C'est ainsi que Nuel (1), se posant la question de savoir si dans l'écorce cérébrale il existe des cellules et des fibres qu'on pourrait qualifier de motrices et d'autres de sensibles, s'exprime de la façon suivante : « Cette distinction fonctionnelle empruntée aux nerfs périphériques ne saurait être appliquée au système nerveux qu'avec des restrictions extrêmes ; où cesse la sensibilité et où commence la motricité ? Selon toutes les apparences la question ne peut pas même être posée en ces termes ».

Gley (2) étudiant les fonctions de la zone sensitivo-motrice du cerveau se demande simplement « si les cellules des centres rolandiques sont motrices ou sensibles ou à la fois motrices et sensibles ».

Morat (3) n'admet pas une localisation séparée de la sensibilité et de la motricité dans l'écorce du cerveau, les résultats observés sur les racines médullaires qui sont uniquement motrices ou sensibles ne pouvant être étendus à l'écorce du cerveau.

C'est en 1912, c'est-à-dire quarante-deux ans après

(1) Fréderieq et Nuel, *Eléments de physiologie humaine*, 1904, p. 496.
(2) E. Gley, Traité *élémentaire de Physiologie*, 1910, p. 1023.
(3) Morat et Doyon, *Traité de Physiologie. Fonctions d'innervation*, 1902, pp. 504 et suiv.

l'expérience de Fritsch et Hitzig, que la dissociation expérimentale des fonctions sensitive et motrice du gyrus a été faite pour la première fois par E. Wertheimer, qui utilisa un artifice expérimental, l'anémie du cerveau ; par ce moyen il parvint à paralyser isolément les éléments sensibles et il montra la persistance de l'activité des cellules motrices. L'anémie du cerveau par ligature simultanée des artères nourricières apportant le sang à cet organe, les vertébrales et les carotides, est une opération presque toujours inoffensive chez le chien ; le sang est ramené dans les artères du cerveau par des voies collatérales et l'animal se rétablit progressivement. Mais dans les premiers temps qui suivent les ligatures, l'irrigation sanguine du cerveau est insuffisante ; pendant ce temps, le chien opéré présente des troubles moteurs plus ou moins accusés qui peuvent aller jusqu'à la paralysie complète ; certains animaux marchent en trébuchant et ils présentent une insensibilité comparable en tous points à celle du chien à qui l'on a extirpé le gyrus sigmoïde ; une pince à griffes appliquée à demeure sur une patte ne peut être localisée par l'animal ; il ne tournera pas la tête vers le point excité et ne fera aucune tentative pour se débarrasser de l'instrument ; l'anémie a suspendu le fonctionnement des centres cérébraux chargés de la perception des excitations sensibles et cependant on peut établir que dans ces conditions les territoires moteurs du cerveau sont intacts, et ont gardé leur irritabilité normale, car si en ce moment on excite par le courant faradique ordinaire la zone motrice, elle répond comme d'habitude à l'excitation. Les neurones moteurs corticaux ont résisté à l'anémie tandis que les cellules sensibles ont succombé rapidement. Cette expérience de Wertheimer, qui semble jusqu'ici n'avoir pas retenu suffisamment l'attention des physiologistes, nous paraît devoir tenir une place importante dans l'histoire de nos connaissances sur la physiologie générale des centres nerveux. Bien moins

brutale que l'expérience de l'ablation du gyrus, elle tourne la difficulté en utilisant l'anémie. Par une action élective elle abolit une fonction plutôt qu'une autre en touchant d'une façon spéciale des éléments cellulaires qu'on aurait pu difficilement atteindre par un autre procédé. Cette expérience établit d'une façon élégante et définitive que la zone motrice contient à la fois des cellules de sensibilité et des cellules pour le mouvement ; elle prouve « que le siège des excitations motrices ne se confond pas avec celui des perceptions sensibles, que les unes et les autres doivent se trouver localisées dans des éléments distincts, inégalement résistants à l'anémie. La dissociation fonctionnelle implique la dissociation anatomique » (1).

Au moment où les cellules pyramidales motrices répondent à l'excitation expérimentale du courant faradique, c'est-à-dire ont gardé leur irritabilité, les impressions sensitives et sensorielles ne sont plus perçues, car les éléments qui sont chargés de leur élaboration sont paralysés. Voilà bien la preuve expérimentale directe de la séparation dans le gyrus du chien des éléments moteurs et sensibles qui, bien que mélangés, sont cependant parfaitement isolés les uns des autres.

Cet isolement paraît avoir atteint son plus haut degré de perfection chez les singes anthropoïdes (2) où la circonvolution centrale antérieure est le siège exclusif des fonctions motrices. C'est aussi dans cette région que sont situées les cellules pyramidales dites géantes, et Holmes et Page May (3) ont montré sur le chien et sur le chat

(1) Wertheimer. *Mélanges biologiques.* Livre dédié à Charles Richet à l'occasion du vingt-cinquième anniversaire de son professorat, p. 450.

(2) Grünbaum et Sherrington, *Observations on the physiology of the cerebral cortex of some of the higher aspes.*

Krause. *Hirnphysiologisches im Anschlusz an operative Erfahrungen*, Berlin, Klin. Woch., 1910, t. XLVII, p. 1.

(3) Holmes et Page May, *On the exact origin of the pyramidal Tracts in man and other animals.* Centralb. f. Physiol., 1909, p. 897.

que seules ces cellules pyramidales géantes sont l'origine des voies motrices, les faisceaux pyramidaux ; on admet maintenant que la véritable zone motrice est constituée par la région qui contient ces cellules.

La région sensitive déborde la zone excitable (1) par le courant électrique et chez le singe elle est située en arrière de la zone motrice, nettement circonscrite à la circonvolution frontale postérieure. Les cellules de sensibilité résistant si mal à la privation du sang sont aussi électivement touchées par certains poisons. Le sulfate de strychnine en solution à un pour cent appliqué localement sur leur territoire les excite comme on l'a bien vu sur le chat ; différents symptômes apparaissent qui sont des signes d'excitation sensible, et particulièrement une forte hyperesthésie cutanée qui survient dans les parties opposées du corps et intéresse nettement la sensibilité tactile.

Une autre substance agit avec prédilection sur les cellules réceptrices de la sensibilité, c'est le chloralose dont Charles Richet (2) a étudié toutes les propriétés physiologiques. Lorsqu'il fit ses premières expériences sur ce corps, Ch. Richet vit que les chiens chloralosés ressemblaient à ceux qui n'ont plus de cerveau moteur.

E. Wertheimer a observé que dans ce cas la sensibilité tactile et la sensibilité musculaire étaient abolies et dans ces conditions, alors que la cellule sensible est réduite à l'impuissance par le poison, l'élément moteur a conservé son intégrité, « les agents d'exécution motrice n'ont rien perdu de leurs propriétés intrinsèques, mais les impulsions qui sollicitent leur activité font défaut, parce qu'elles

(1) Monakow, *Ueber den gegenwärtigen Stand der Frage nach der Localisation im Groszhirn.* Ergebn. d. Physiol., 1. Jahrg., 11. Abtheil., 1902, p. 534.

(2) Hanriot et Ch. Richet, *Action physiologique du chloralose.* C. R. de la Société de Biologie, 1893, p. 1. *Effets psychiques du chloralose sur les animaux.* C. R. de la Société de Biologie, 1893, p. 109. *Effets psychologiques du chloralose.* Ibid., p. 129.

ont leur point de départ dans d'autres éléments cellulaires qui sont paralysés » (1).

Comment les cellules pyramidales entrent-elles en activité dans les conditions ordinaires de la vie, comment fonctionne cette zone sensitivo-motrice ?

Il est actuellement démontré que certains réflexes ont pour substratum la zone du gyrus. Le réflexe de contact de Munk, par exemple, obtenu en plaçant un chien dans la position verticale, afin que les extrémités antérieures pendent librement, et qui est manifesté par la flexion des orteils après une légère excitation de la face dorsale du pied, a pour siège la zone sensitivo-motrice, car il est aboli définitivement après l'ablation du gyrus ; ce réflexe présente, comme on voit, un trajet nerveux très long, puisqu'il part de l'extrémité d'un membre pour remonter tout le long de la moelle épinière jusqu'à l'écorce du cerveau. Il est précieux à utiliser dans le cas où l'on veut se rendre compte de l'état d'excitabilité de la zone motrice ; il est aboli par l'anémie et le chloralose.

D'autres excitations que les irritations tactiles périphériques peuvent susciter l'activité de la zone motrice ; il semble que les sphères sensorielles soient en relation directe avec celle-ci ; les réflexes conditionnels nous en donnent un exemple très net. On a vu certains mouvements de préhension des aliments effectués par un chien sur l'ordre d'un signal donné, le son d'un diapason dont le nombre de vibrations était déterminé. Cette excitation, et cette excitation seulement, était capable de déclancher le mouvement de préhension habituel à cette expérience de dressage, le son d'un autre diapason de vibrations différentes ne pouvant provoquer le réflexe.

La zone motrice peut-elle encore fonctionner indépendamment de toutes ces excitations périphériques, autrement dit, peut-elle agir d'une façon autonome sous l'in-

(1) *Loc. cit.*, p. 452.

fluence d'excitations qui naîtraient sur place, à la façon du centre bulbaire déterminant les mouvements de respiration, par exemple? La question a été posée depuis longtemps et fut résolue par Marique (1) ; quand on pratique l'isolement complet de la zone motrice par un sillon perpendiculaire à la surface du cerveau, sorte de tranchée qui l'isole complètement du reste de l'écorce cérébrale, on constate les phénomènes curieux d'une paralysie semblable à celle qui suit l'ablation du territoire moteur. Si l'on porte à ce moment l'excitation électrique sur cet îlot de cellules motrices séparées des centres voisins par la section de toutes les fibres d'association, on produit les mouvements habituels qui montrent la conservation de la vitalité des cellules motrices ; toute leur irritabilité est maintenue, mais si l'on cesse l'excitation artificielle, tout mouvement disparaît, les cellules motrices rentrent définitivement dans le repos ; elles sont devenues désormais et pour longtemps incapables de provoquer un mouvement spontané, le centre moteur est voué à l'inertie.

Cette expérience montre que dans le jeu de la vie les cellules motrices n'entrent en fonctionnement que par l'action des centres voisins reliés au gyrus grâce aux fibres tangentielles ; et lorsque ces dernières sont coupées, le centre moteur perd son activité de même que les cellules des cornes antérieures de la moelle, lorsque les racines sensibles correspondantes sont sectionnées. A vrai dire, dans l'expérience de Marique, des excitations de toute la périphérie cutanée et de la profondeur des muscles et des os parviennent en totalité au gyrus, mais elles paraissent insuffisantes pour permettre un fonctionnement spontané. Ce dernier nécessite la conservation des liens ordinaires du gyrus avec les autres centres corticaux. Et cette excitation par les centres voisins, qui parvient

(1) Marique, *Recherches expérimentales sur le mécanisme de fonctionnement des centres psycho-moteurs du cerveau.* Bruxelles, 1885, pp. 73-83.

de façon constante au gyrus, paraît tellement nécessaire à la vie même des cellules de la zone sensitivo-motrice, elle présente une telle action nourricière sur ces cellules, que bien qu'on ait pris soin de ne pas altérer au cours de l'opération l'irrigation sanguine de la région (1), on trouve au bout d'un certain temps, à la place du gyrus, un véritable tissu de cicatrice dans lequel les éléments moteurs ont disparu.

L'enlèvement du gyrus sigmoïde du chien, cette simple expérience dont les résultats ont soulevé tant de problèmes intéressant la physiologie du système nerveux, suscite encore d'autres questions.

Les mouvements commandés par la zone motrice reparaissent-ils après son ablation ? D'autres territoires de l'écorce, d'autres centres situés sur le manteau cérébral ou au-dessous de lui peuvent-ils remplacer la zone motrice, produisant ainsi des phénomènes de compensation ou de suppléance ?

On admettait généralement, à la suite des premières recherches sur l'enlèvement du gyrus, que les mouvements intentionnels étaient à jamais perdus ; seuls persistaient les mouvements d'ensemble de la marche, de la course, assurés par le bulbe et la moelle épinière, comme l'avait déjà observé Goltz sur son chien sans cerveau. Après l'ablation du gyrus, d'après les premiers observateurs qui s'étaient occupés de cette question, le pouvoir d'utiliser la patte à la façon d'une main disparaissait complètement ; le chien ne pouvait plus, disait-on, maintenir un os avec l'extrémité de la patte, ni utiliser celle-ci pour creuser le sol ; les mouvements adaptés à un but, d'origine volontaire, n'étaient plus manifestés ; cependant, les observations ultérieures montrèrent que ces troubles moteurs ne persistaient pas avec l'intensité du début ; Goltz constata que les animaux pouvaient récu-

(1) En ménageant avec soin les vaisseaux de la pie-mère.

pérer dans une certaine mesure la possibilité de mouvoir les muscles du membre lésé.

Un chien opéré était soumis à l'épreuve suivante : on lui présentait une assiette dans laquelle des morceaux de viande étaient cachés sous des graviers grossiers ; pour piétiner et gratter ces cailloux, l'animal employait la patte saine, mais lorsque celle-ci était maintenue et réduite à l'impuissance l'animal utilisait la patte paralysée.

Gaule enleva sur un chien, qu'il avait dressé auparavant à des exercices de tout genre, toutes les parties des deux gyrus excitables par un courant électrique faible. Après que les phénomènes paralytiques survenant habituellement eurent rétrocédé peu à peu, Gaule dressa de nouveau l'animal, qui apprit une seconde fois toute une série de mouvements compliqués en rapport avec la volonté, comme par exemple l'acte de tendre la patte sur un simple ordre du maître ; sans doute ces mouvements n'avaient plus la fine régulation d'autrefois, ils étaient moins souples, moins précis, moins adaptés ; mais plusieurs observations de ce genre prouvent bien que la zone sensitivo-motrice n'est pas l'unique territoire moteur qui régit les mouvements intentionnels. Les mêmes résultats furent obtenus chez le singe, qui cependant manifeste immédiatement après l'enlèvement de la zone motrice des troubles considérables. La marche et l'acte de grimper sont altérés à un point extrême ; des mois après l'opération, l'animal se heurte et tombe facilement ; il glisse fréquemment et ne grimpe qu'avec peine ; les mouvements sont complètement incoordonnés. Mais, à la longue, les troubles disparaissent peu à peu et, par l'exercice, il utilise à nouveau les muscles correspondant aux centres détruits, les mouvements intentionnels reparaissent, il ferme le poing volontairement, saisit un fruit et le garde dans sa main prenante, dont il arrive à utiliser tous les anciens mouvements. Goltz observa pendant plus de dix ans un singe

ainsi opéré, et, par un dressage, l'animal parvint à récupérer la mobilité du bras et de la main pour tous les mouvements intentionnels.

Des expériences semblables de Sherrington et Grunbaum sur le chimpanzé confirment ces données ; au lieu de pratiquer l'ablation totale de la zone motrice des membres, ils enlevèrent simplement une parcelle de ce territoire, la petite région qui intéresse les muscles du pouce, des doigts et de la main, après l'avoir délimitée par expérience à l'aide d'excitations électriques ; après quelques semaines la paralysie de ce segment de membre s'était dissipée et la main et le doigt furent réemployés aux plus fins mouvements.

Il faut donc admettre que dans d'autres régions du cerveau des centres nerveux sont entrés en activité et ont suppléé les cellules disparues.

Il est probable que les régions voisines situées en bordure du gyrus extirpé et qui après l'opération sous l'influence du shock ont cessé de fonctionner, doivent entrer en ligne de compte dans une certaine mesure. En effet, l'expérience le démontre : cette zone qui borde le gyrus extirpé est le siège d'une variation négative, quand on excite la partie du membre qui lui correspond (1), variation négative qui est un phénomène électrique décelant toujours l'activité d'un tissu (2).

(1) Beck, *Congrès international de physiologie*, 1904, Bruxelles.

(2) Quand on place dans le circuit d'un galvanomètre sensible un segment de nerf ou de substance nerveuse, on constate que ce tissu est le siège d'un courant électrique qui va, dans l'appareil, de la superficie du segment à la face de section ; ce courant est appelé le courant de repos.

Si le nerf ou le tissu entrent en activité, l'aiguille du galvanomètre revient à sa position primitive sans l'atteindre cependant, indiquant ainsi un amoindrissement du courant de repos.

Ce phénomène a reçu le nom d'oscillation négative ou de variation négative.

La variation négative décèle l'activité d'un nerf, elle est proportionnelle, dans les limites du travail physiologique, à l'intensité de l'excitation, et constitue ainsi, en mesurant l'activité nerveuse, un précieux témoin de celle-ci.

Mais cette mince zone marginale de tissu nerveux survivant ne paraît pas capable de remplacer le territoire enlevé et il faut supposer que d'autres régions de l'écorce interviennent dans cette suppléance.

Cette hypothèse fut émise par Carville et Duret (1), qui avaient pensé à une action compensatrice exercée par les centres corticaux de l'hémisphère resté intact. Après avoir enlevé les centres des mouvements des membres dans le cortex droit et produit ainsi la paralysie du côté opposé, ils attendirent la guérison des troubles moteurs ; puis ils pratiquèrent l'ablation du gyrus de l'hémisphère cérébral gauche. La paralysie primitive gauche ne reparut pas. « Cette expérience suffit pour renverser la théorie de la compensation par les centres moteurs de l'hémisphère opposé » (2).

Il faut donc admettre en dernière analyse, que ce sont les centres sous-corticaux qui doivent dans ces conditions remplacer la zone motrice.

Ces phénomènes de compensation dans le système nerveux central sont connus depuis longtemps, pour certains territoires hautement spécialisés, comme les sphères sensorielles de la vision.

Lussana et Lemoigne (3) en ont donné un exemple saisissant qui paraît être le plus remarquable que nous possédions :

Chez le pigeon, la sphère visuelle d'un hémisphère reçoit toutes les fibres nerveuses de l'œil opposé ; après l'enlèvement d'un hémisphère l'oiseau est tout d'abord complètement aveugle de l'œil opposé ; mais si l'œil qui voit encore est extirpé, l'oiseau apprend à voir de nouveau très rapidement avec l'œil qui jusqu'ici paraissait aveugle :

(1) Carville et Duret, Arch. de physiologie normale et pathologique, 1875.

(2) David Ferrier, *Les fonctions du cerveau*, 1878, p. 338.

(3) Lussana et Lemoigne, *Fis. dei centri nervosi*. Padova, 1871. Arch. de Physiol. 44. 20. 1877.

dans l'hémisphère intact des territoires qui jusque-là étaient restés fonctionnellement silencieux se sont chargés des impressions visuelles et les ont élaborées.

Une expérience aussi frappante a été réalisée par Kalischer (1) pour les sphères sensorielles de l'audition, qui chez le chien sont situées, comme Munk l'a montré, dans la première circonvolution temporale. Immédiatement après l'ablation de ces régions l'animal ne comprend plus la signification des sons émis à son oreille, il ne répond plus à l'appel de son nom, au sifflet, ni au claquement du fouet qui auparavant l'effrayait.

Sur un chien dressé au préalable à prendre sa nourriture à un signal de diapason donné, ou à un son produit par un orgue, on constate que l'ablation des deux sphères auditives n'empêche pas la rééducation de l'animal, et, par un nouveau dressage, d'autres régions suppléent les circonvolutions temporales disparues (2).

Ces faits d'observation renforcent l'hypothèse de Carville et Duret, que d'autres centres sous-corticaux agissent dans le phénomène compensateur et justifient l'énoncé pour le système nerveux d'une loi de la substitution fonctionnelle ou loi de suppléance soutenue depuis longtemps déjà par Flourens, Longet et Vulpian.

Beaucoup d'exemples de suppléance étaient déjà donnés par l'organisme vivant. C'est un fait banal que l'ablation d'une moitié d'une glande double, comme le rein, est suivie de l'augmentation de fonctionnement de la moitié opposée ainsi que d'une hypertrophie compensatrice. L'enlèvement d'une certaine quantité de tissu dans le foie

(1) Kalischer. *Zur Function des Schapenlappens des Grosshirns.* 1905. Abt. d. Kön. press. Akad. d. Wiss.

(2) Cet auteur a constaté que l'ablation surajoutée des corps quadrijumaux postérieurs, qui dans les centres sous-corticaux sont les lieux de passage des fibres du nerf acoustique, n'empêchait pas la rééducation auditive. Il faudrait donc admettre, d'après lui, que le bulbe lui-même suffirait à la production des mouvements consécutifs au signal sonore.

a pour résultat la croissance de cellules nouvelles. Pour le tissu des centres nerveux qui paraît plus délicat et plus fragile, cette multiplication des éléments nobles, les cellules, ne paraît pas exister chez les vertébrés supérieurs, mais pour lutter contre la disparition d'un centre cérébral, il est évident que les cellules restantes interviennent dans la suppléance du groupe cellulaire disparu. L'être vivant est doué d'une richesse d'éléments cellulaires qui frappe l'attention du biologiste ; éléments reproducteurs, cellules des glandes à sécrétion interne, tous ces tissus semblent être plus abondants que les besoins réels des organismes l'exigent; il existe un véritable luxe d'éléments anatomiques et le tissu nerveux lui aussi paraît abondamment pourvu ; tous ces éléments ne sont probablement pas utilisés en totalité.

Certains phénomènes comme l'ataxie paraissent être compensés totalement par le cervelet ; quand on a enlevé le gyrus, l'ataxie peu à peu s'améliore pour disparaître à la longue ; il est possible de mettre en évidence l'action de suppléance du cervelet en provoquant l'intoxication alcoolique de cet organe qui fait reparaître l'ataxie avec toute son intensité primitive (1).

La zone sensitivo-motrice est donc suppléée par le cervelet dans une certaine mesure ; inversement, elle peut remplacer des organes sensoriels qui sont en relation directe avec le cervelet, les canaux semi-circulaires qui ont une action très grande sur les fonctions d'équilibre et la régularisation du tonus musculaire, fonctions qu'ils partagent avec le cervelet.

Après l'ablation des canaux semi-circulaires d'un côté, des troubles moteurs apparaissent chez le chien, mais ils ne durent que quelques semaines ; l'ablation des mêmes organes de l'autre côté est suivie de symptômes paralytiques plus durables et plus profonds : l'animal ne peut

(1) Russell, Journal of Physiology. 1898. 15, 464 ; 17. 1.

plus courir et il tombe à chaque pas. Au bout d'un certain temps, les mouvements s'améliorent et le chien reprend une allure normale ; si, comme l'a fait Ewald (1), on pratique ensuite l'enlèvement d'un gyrus, les troubles moteurs consécutifs sont les mêmes que ceux qui accompagnent d'ordinaire cette opération et ils s'amendent après quelques semaines. Si on enlève maintenant l'autre zone sensitivo-motrice, une paralysie grave survient qui empêche la marche, la course, le saut, l'attitude normale de la station debout ; le chien devient incapable de tout mouvement de progression et il reste couché sans pouvoir changer sa position. Ainsi, après l'ablation d'un labyrinthe, c'est-à-dire des canaux semi-circulaires d'un côté, les fonctions statiques avaient été suppléées par un congénère ; les zones sensitivo-motrices ont ensuite compensé le déficit causé par la disparition des deux organes sensoriels ; une seule de ces zones suffit même pour cela, mais quand cette dernière est détruite à son tour, les centres corticaux et le cervelet lui-même ne peuvent plus suffire à cette tâche.

Les suppléances fonctionnelles consécutives à la destruction de territoires nerveux moteurs très étendus sont-elles complètes et parfaites ? Les mouvements restitués sont-ils caractérisés par cette même perfection qu'ils présentaient chez le sujet normal ?

Pour Munk (2), dont les observations furent de longue durée, les mouvements s'améliorent, mais conservent toujours une certaine maladresse, qui serait due à la persistance de la diminution de la sensibilté générale ; celle-ci resterait toujours privée du pouvoir de localiser les sensations.

Le pouvoir de produire des mouvements n'est pas la

(1) Ewald, *Ueber die Beziehungen zwischen der excitabeln Zone des Grosshirns u. dem Ohrlabyrinth.* 68. *Versammlung deutscher Naturf. u. Aertze in Frankf. a. M.* Berliner Klin. Wochensch. 19 oct. 1896.

(2) Munk, Berlin. Sitzungsber. 1893. 759.

seule propriété du gyrus ; cette région est encore capable de modifier les actes moteurs, de les arrêter par exemple, ou bien encore de les faciliter La curieuse fonction d'arrêt ou d'inhibition comme on l'appelle fut attribuée au gyrus par Bubnoff et Heidenhain en 1881. Ils annoncèrent que de faibles excitations électriques de la zone motrice suspendaient la contraction d'un groupe de muscles, les extenseurs des doigts, par exemple, qu'une plus forte excitation de la même région avait mis en mouvement. En 1884, Brown-Séquard (1) confirmait le phénomène : « Toute faradisation de la zone motrice déterminant du mouvement, cause simultanément de l'inhibition dans nombre de parties de l'encéphale et de la moelle » ; la même année (2), il constatait que la zone motrice pouvait à son tour être arrêtée dans son activité par des irritations provenant d'autres régions du cortex cérébral, au point de perdre complètement sa puissance motrice, et il recherchait dès ce moment la nature exacte et le siège de ce mécanisme inhibiteur dont il a accumulé de nombreux exemples.

Ce fut Sherrington qui démontra nettement que tout acte moteur provoqué par une excitation du gyrus était accompagné du relâchement du groupe de muscles antagonistes. En expérimentant sur le singe, il constata que l'excitation d'un endroit précis qui produisait le mouvement d'un segment de membre, l'extension du coude, était accompagnée d'un relâchement du muscle biceps ; cette diminution de la tonicité musculaire est facilement perçue par la palpation et, dès que cette expérience fut instituée, elle attira vivement l'attention des observateurs. « Celui qui à Cambridge a été témoin de l'expérience de Sherrington montrant l'effet relâchant qu'accompagne l'excitation du muscle antagoniste a enrichi son expérience

(1) Brown Séquard, C. R. Biol., 7 mai 1884.
(2) Brown Séquard, C. R. Biol., 10 mai 1884.

pour toujours. Je sens encore le triceps du singe se fondre pour ainsi dire entre les doigts, au moment que le biceps se contracte » (1). Sherrington étendit l'étude de ce phénomène à tous les muscles des membres et des yeux et lui donna le nom d'innervation réciproque des antagonistes.

C'est un des plus curieux mécanismes nerveux que la physiologie ait le mieux pénétrés au cours de ces dernières années.

Une autre propriété modificatrice du mouvement appartient aussi au gyrus, c'est le pouvoir d'augmenter l'activité d'autres régions de l'axe cérébro-spinal, pouvoir dynamogénique de Brown-Séquard (2).

Exner (3) a bien mis en évidence ce phénomène dans une expérience sur la zone motrice du lapin ; après avoir observé qu'une excitation périphérique du tégument d'une patte était trop faible pour produire des contractions réflexes de ce membre dans les muscles du pouce, il constata qu'une excitation simultanée, et inefficace par elle-même de la zone corticale de ce muscle, pouvait produire un mouvement, lorsqu'on la combinait avec la première excitation périphérique. Les deux irritations produites séparément n'agissaient pas, mais lorsqu'elles étaient effectuées en même temps, elles avaient un résultat positif; la secousse réflexe était facilitée par l'influx nerveux venant du cerveau. L'action dynamogénique est la dernière propriété qu'on puisse attribuer à la zone motrice, dans l'état actuel de nos connaissances.

Nous avons passé en revue les différentes méthodes expérimentales utilisées pour l'étude des fonctions motrices du cerveau.

L'excitation électrique du cerveau a déterminé le siège exact des centres moteurs ; on peut se demander si

(1) Hamburger, *Discours d'ouverture du Congrès international de Physiologie*. Groningue, 1913.

(2) Brown Séquard, C. R. Soc. biol., 1887, p. 261.

(3) Exner, Pflugers Arch. 18. 487, 1882.

l'excitant volontaire n'utilise pas encore d'autres régions qui ne seraient pas excitables par l'électricité. La méthode de l'ablation confirme la méthode de l'excitation et, chez les animaux présentant dans la région motrice un mélange d'éléments moteurs et sensibles, l'expérience de l'anémie renforce nos connaissances en prouvant l'existence séparée des éléments moteurs et sensibles.

Enfin, l'extirpation de la zone motrice, en mettant en évidence les phénomènes de suppléance attire l'attention sur le rôle important des centres sous-corticaux, dont l'étude est à peine ébauchée actuellement.

Les méthodes de recherches que possède la science ne nous ont pas permis d'aller plus avant dans l'étude expérimentale des fonctions motrices du cerveau.

G. Battez,
Agrégé de Physiologie
Prof. à la Faculté libre de Méd. de Lille.

Sciences [1] et métaphysique

Dans le domaine des idées notre vingtième siècle se dégage du pesant matérialisme que lui a légué le dix-neuvième. Ce matérialisme s'était autrefois développé avec les progrès remarquables de la science expérimentale. Aussi n'est-il pas étonnant que le monde des savants soit aujourd'hui le dernier touché par le nouveau courant. Trop nombreux sont encore ceux qui se méfient de la philosophie pure ou métaphysique. Beaucoup même sont convaincus que la Vérité sort exclusivement des laboratoires. « La métaphysique serait un pur verbiage, amusement des esprits neufs ».

Eh bien ! non... Il est possible à l'homme d'atteindre d'autres vérités que les trouvailles du savant. Bien plus, c'est parce qu'il est capable de métaphysique, que l'homme peut élaborer la science. Nous allons tâcher de montrer comment, outre la science, la métaphysique s'impose. Nous préciserons leurs domaines respectifs. Puis nous verrons comment ces deux aspects du savoir se compénètrent et se complètent ; comment la métaphysique permet d'expliquer et de juger la science.

La science répond à la question : « Qu'est-ce que le monde ? » en répondant à cette autre : « Comment *faut-il* imaginer le monde ? »... Entendons-nous. Cela ne veut pas dire que la science soit uniquement affaire d'imagina-

(1) En parlant de sciences, nous avons surtout en vue les sciences physico-chimiques. Pourtant, moyennant quelques précisions de détail, les idées fondamentales de notre essai valent pour toute science positive.

tion ; elle est avant tout travail d'intelligence. Elle exprime ses résultats en termes de pensée abstraite, en des concepts généraux. Mais ces concepts, d'une part, elle les détermine uniquement par l'étude des phénomènes sensibles qu'ils embrassent, et d'autre part, elle ne leur demande que de fournir la clef permettant de retrouver et de prévoir les phénomènes. Nous expliquerons cela plus à fond dans la suite. Bornons-nous pour le moment à constater que tel est bien l'objet de la science.

Esquissons la suite de ses démarches. Le savant commence par ouvrir grandes, les portes de ses sens, puis pour suppléer à l'insuffisance de ceux-ci, il se construit d'ingénieux appareils qui centuplent leur acuité ou qui lui en créent en quelque sorte de nouveaux. Il observe le monde dans ses moindres détails. Les observations sont généralement guidées par un but entrevu, un pressentiment à vérifier. Mais schématisons et laissons cette première démarche à ce qu'elle a de spécifique. Voici l'imagination enrichie d'un opulent butin de phénomènes. Le savant peut rebâtir le monde avec ces matériaux, *il peut* l'imaginer ; il ne sait pas encore comment *il doit* le faire.

Car son intelligence a conscience, même avant que les sens lui aient indiqué des consécutions et des groupements constants, que des unités, des nécessités dominent les phénomènes fluents et dispersés ; unités et nécessités que l'intelligence n'a pas à y mettre suivant son bon plaisir, mais qu'elle doit accepter de la réalité. Le grand labeur du savant sera précisément de les reconnaître afin de pouvoir réédifier le contenu imaginatif comme il doit l'être, et non plus au hasard des associations. Dans un tableau du monde, les mêmes matériaux pourraient être mis en œuvre par l'artiste et par le savant ; mais comme ils seraient différemment groupés, inégalement charpentés !

L'unité et la nécessité organisatrices, le savant les exprime ordinairement par des lois. Les phénomènes y sont fonction de l'espace, du temps, d'autres phénomènes.

Les classifications du botaniste, du zoologiste en sont un exemple ; elles affirment, somme toute, que telle configuration, tel éploiement spatial de couleurs, ne sont pas œuvre de hasard, mais caractérisent un type.

Autre exemple ! L'observateur voit mille fois tomber des corps, dans des conditions diverses, avec des vitesses différentes. Cependant ces vitesses ne sont pas quelconques, comme le laisserait supposer l'expérience immédiate. Elles réalisent chacune, sous telle ou telle modalité, une idée unique qu'exprime la formule simple, mais théorique : $v = gt$.

De même enfin les lois de Mariotte et de Gay Lussac révèlent, sous l'arbitraire des apparences, une nécessaire solidarité entre la pression, le volume et la température d'un gaz.

Dans un effort ultérieur de systématisation, dans un désir d'unité plus étroite, le savant élabore la théorie. Il y établit que les lois très diverses concernant un ensemble de phénomènes sont vérifiées si l'on imagine tel phénomène simple, soumis à quelques lois plus générales que les premières. La théorie est le plus souvent de l'ordre de l'hypothèse, c'est-à-dire qu'elle affirme sans constater ; elle gagne en certitude à mesure qu'elle devient plus largement explicative et que des expérimentations multipliées en des domaines différents la vérifient ; elle triomphe plus encore lorsque l'observation découvre des phénomènes nouveaux qu'elle avait fait prévoir.

Comme exemple simple de théorie, citons celle de l'attraction universelle. Les corps tombent suivant une loi ; les astres se meuvent suivant des lois. Très bien ; mais pourquoi cette multiplicité de lois, et pourquoi précisément ces lois-là ? Tout s'explique si (propriété indécelable par nos sens) les corps sont tels qu'ils s'attirent en raison directe de leurs masses, et en raison inverse du carré de leur distance. Mais d'où proviendrait cette attraction mutuelle ? De nouveau l'hypothèse inter-

vient et tente de rattacher le phénomène précédemment supposé à un plus vaste ensemble. Et l'on parle de bombardement des corps par l'éther, ou de tension du milieu ou d'autre chose encore.

Nous avons schématisé le développement scientifique. Mais ce que nous avons dit suffit à faire constater que si le savant se base sur l'examen attentif du phénomène, et si le terme de son étude est un tableau phénoménal, il n'y a pourtant science que lorsque son intelligence en des concepts généraux, des points de vue d'unité, des lois, solidifie, articule, organise les représentations. « Comment *faut-il* imaginer le monde ? » telle est bien la question que se pose la science.

Esquissons maintenant le but et le procédé de la métaphysique.

La métaphysique prétend nous apprendre ce qu'est l'être en tant qu'être.

— « Je ne vous comprends pas, dira l'empiriste ; l'être vous le voyez, vous le palpez ; mes instruments vous le dépècent, en fouillent tous les recoins. Pour autant qu'elle se distinguerait de la science, votre étude de l'être n'aurait pas d'objet. »

— Soit, il n'y a qu'à regarder pour voir l'être, à écouter pour l'entendre, à toucher pour le sentir. Mais il ne s'agit plus de le décrire par ce que l'on en voit, par ce que l'on en entend, par ce que l'on en sent ; il s'agit d'éclaircir ce qu'il est en lui-même.

Cela a-t-il un sens ? Mais oui. C'est une des données manifestes de notre conscience qu'outre la couleur, le son, la résistance, nous atteignons la valeur d'être, de réalité. Le sensible suppose cette valeur ; il ne fait que l'habiller, nous la spécifier.

C'est même parce que nous percevons cette valeur spéciale d'être que nous ne nous sentons plus libres de reconstituer le monde au hasard ou à notre gré ; il y

a une vérité et une seule. Mais aussi cette valeur d'être ne se lit-elle pas par les sens ou l'imagination ; les scalpels et les réactifs n'ont pas prise sur elle ; c'est l'intelligence qui la saisit et qui la pèse.

Seulement, nous ne nous donnons pas la peine le plus souvent de réfléchir à ce constituant primordial de notre connaissance. Nous sommes noyés dans le sensible. Tout en sachant que l'être est, et en fondant profondément là-dessus nos pensées et nos actes, notre attention se porte sur les phénomènes comme tels. Une fois élucidé le mystère des apparences, ce qui est l'affaire du savant, nous ne nous étonnons plus de rien. Et pourtant il reste un mystère profond, le mystère de l'être. Car les objets dont nous croyons tout savoir parce que nous avons fixé leur histoire, leur agencement, leur usage,... ces objets *sont*. Pour le coup, notre imagination demeure silencieuse, déroutée ; notre intelligence, elle, a tressailli. Ces objets sont... et nous-mêmes, nous *sommes*. Nous qui nous sommes si familiers, qui pensons si bien nous connaître, parce que notre mémoire est riche en souvenirs, parce que nous avons constaté nos goûts, nos répugnances, parce que nous nous sentons vivre, parce que nous entrevoyons quelques étapes de notre avenir, nous demeurons interdits, lorsque nous nous disons que *nous sommes*. Nous ne nous comprenons plus, si comprendre veut dire relier des phénomènes, rattacher des apparences nouvelles aux anciennes ; nous voilà devant un fait simple, originel, qui soutient tous les autres, un fait qui ne se peint pas devant nos yeux, mais qui cependant nous émeut, auquel notre intelligence sympathise, et dans le mystère duquel elle pressent de grandes choses.

L'être, c'est donc la donnée toujours présente dans notre connaissance, irréductible aux phénomènes, mais trop souvent inaperçue dans son originalité et sa portée, la donnée que la métaphysique se propose d'étudier, non pour nous dire l'impression que l'être fait sur nos sens

ou la façon dont il faut l'imaginer, mais pour savoir ce qu'il est en lui-même. Avant de découvrir que le monde est ceci ou cela, il faut d'abord savoir que le monde est. Qu'est-ce que cela signifie ? Qu'est-ce que cela comporte ?

Peut-être ne parviendrons-nous pas à quitter notre point de départ : nous ne saurons que dire : « C'est au réel que nous avons affaire ; l'être est ». Tel fut le premier mot de la métaphysique au temps des Éléates. Ce serait déjà, tout au moins, prendre conscience d'un problème très grand et très humain. Peut-être aussi verrons-nous sous l'effort de notre pensée (et c'est de fait ce que nous verrons) le réel se hiérarchiser, se composer, se diversifier d'une diversité interne, non réductible à la diversité extérieure que sont les phénomènes, et parviendrons-nous à édifier toute une science de l'être comme tel.

Exposons très brièvement la méthode de cette science *sui generis* et les grandes lignes de son développement.

La métaphysique n'est pas expérimentale. Ce n'est qu'accidentellement et point par le jeu de sa méthode, que l'expérience y intervient. Une civilisation plus nuancée, une connaissance plus personnelle de la vie, les découvertes scientifiques peuvent éveiller de nouveaux problèmes, mettre sur la voie de nouvelles solutions ; mais problèmes et solutions qu'un esprit suffisamment puissant aurait pu rencontrer à priori, avant l'influence d'aucun fait. En principe, une seule expérience suffit au métaphysicien, l'expérience élémentaire que toutes les autres diversifient, celle que nous faisons quand nous prenons conscience de saisir du réel habillé de qualités sensibles.

L'instrument dont se sert la métaphysique pour dégager de cette expérience ce qu'elle contient est le principe de contradiction : « le réel ne peut pas être contradictoire » ou encore : « il ne peut pas être et ne pas être, sous le même rapport ».

Nier ce principe est impossible. Qu'on puisse le faire

de bouche, soit ! Mais l'esprit n'aura pas de part à cette parole, car il se mentirait à lui-même, décrétant par une affirmation absolue l'inconsistance de toute vérité et donc la vanité de toute affirmation.

Dès lors, si l'investigation raisonnée du contenu de conscience découvre des contradictions apparentes, la métaphysique aura pour tâche de rechercher et de poser ensuite les conditions et les propriétés du réel capables de résoudre ces contradictions.

Dès que les premiers philosophes grecs se mirent à réfléchir sur cette valeur d'être qu'atteignait leur esprit, ils furent singulièrement surpris. Être leur semblait synonyme d'un, de nécessaire ; de plus, comme l'être couvre tout et n'a d'étranger à lui que le néant, il exige l'illimitation. L'être est un, nécessaire, immobile, infini, telle fut la conclusion de Parménide ; et tranquillement il traita d'illusions la multiplicité et la mobilité sensible. Mais c'était sacrifier indûment un apport de la connaissance, car l'être et le phénomène ne nous sont pas donnés l'un à côté de l'autre. Ils se compénètrent. Nous l'avons déjà dit, c'est comme support des apparences sensibles que l'intelligence pose la valeur d'être. Nous reprendrons donc la question, en tâchant de concilier ces éléments contradictoires d'unité et de multiplicité, de nécessité et de contingence, d'infinité et de limitation.

Puisque l'être comme tel est un, nécessaire, infini, et que la conscience immédiate ne nous offre que des êtres multiples, finis et contingents, il faut reconnaître que ces derniers ne sont pas « être » purement et simplement. Il faut poser en eux une condition restrictive, désagrégeante. Cette condition est d'ordre réel, puis qu'elle a prise sur l'être ; elle est un principe d'être, on l'appelle la « puissance ». La puissance dont il s'agit ici est encore nommée « l'essence ». Ce que les êtres comportent de richesse positive, par opposition à la « puissance » limitatrice, s'appelle l'« acte » dans la terminologie scolas-

tique. N'essayons pas de nous imaginer ces deux principes complémentaires : acte et puissance ; nous fausserions leurs notions. L'esprit seul, avons-nous vu, peut parler de l'être comme tel, et donc aussi de ses principes constitutifs.

L'être diminué manifestera cependant les propriétés de l'être comme tel dans la mesure où le lui permet la puissance. Il pourra être ou ne pas être, car il est contingent ; mais s'il est, il sera nécessairement ce qu'il est. Il ne sera pas tout l'être, car il est limité ; mais ce qu'il sera, il le sera parfaitement, uniquement. En outre, puisque l'être est de soi infini, l'être restreint tendra à sortir de lui-même ou mieux à s'assimiler la totalité de l'être, et nous aurons le déploiement de nos intelligences, effort que nous faisons pour nous enrichir, pour absorber en nous l'univers tout en demeurant nous-mêmes ; effort spontané, inconscient dans sa source profonde, et qui devient pleinement conscient dans l'opération volontaire. La volonté est libre ; en effet, elle est toute tendue en avant, elle est essentiellement une faculté de conquête. Elle ne pourrait être liée que par ce qu'elle poursuit ; or, aucun bien fini ne répond adéquatement au besoin de possession entière de l'être, qui la meut.

Mais nous sommes amenés, pour lever une nouvelle contradiction, à poser dans l'être que nous montre l'expérience, outre l'essence, un second degré de restriction. Non seulement l'objet d'expérience peut être ou ne pas être, mais, s'il se réalise il demeure encore restreint à un espace et à un temps : il n'était pas hier, il ne sera plus demain ; il est ici et non point là. Non seulement il n'est pas tout l'être, mais il n'épuise pas son propre mode d'être ; il y a multiplicité d'individus dans l'espèce. En regardant mon chien je n'assiste qu'à une manifestation bien partielle des ressources de son type : quantité de chiens expriment ce même type avec des nuances différentes ; tous ont à l'exclusion des autres un lot de réalité

et de perfections canines. L'unité interne de l'objet d'expérience est elle-même réduite ; il a des parties indéfiniment divisibles extraposées les unes aux autres. Il n'est jamais ni nulle part totalement lui-même : il s'étend dans l'espace et s'écoule dans le temps. Sans doute, la plante n'est pas une collection de points et d'instants juxtaposés ; une unité foncière coordonne cette diversité ; la diversité n'en entame pas moins l'unité.

Or, puisque l'amplitude, l'unité, la nécessité de l'être sont restreintes par l'essence, nous devons bien poser dans l'essence de l'être matériel deux degrés de puissance. Nous appellerons la première qui le finit et le spécifie, « la forme », la seconde qui le quantifie et l'individualise, « la matière première ». Matière est ici un terme technique de la Scolastique, n'ayant pas du tout la signification que nous donnons habituellement à ce mot.

L'illimitation en droit de l'être, exigera chez l'être matériel comme chez l'être simplement fini, l'exercice d'une activité éliminatrice de puissance. Mais cette activité ne pourra plus tenter (nous exceptons le cas de l'homme dont nous reparlerons) d'assimilation immanente, intelligente et volontaire Elle s'absorbera entièrement dans un effort indéfini d'élimination du second degré de puissance, la matière.

Comme cette emprise de la matière nous est surtout connue par la limitation dans le temps et dans l'espace, disons que l'activité du corps matériel cherchera à le faire échapper à cette prison : le corps voudra durer, et au cours du temps soumettre tout l'espace aux perfections que lui permet sa forme. Il ne peut plus être question, à propos de cette activité, de liberté. Non seulement le but final est fixé, mais encore les modalités du but immédiat. Les perfections propres à tel être matériel déterminent complètement son activité. Comme exemple de ce mode d'action, citons l'astre lumineux diffusant sa lumière toujours plus loin. L'exemple n'est qu'une image

plus suggestive que rigoureusement exacte. Car l'activité dont nous parlons, n'aboutit pas à une simple communication des perfections de l'agent ; elle ne trouve pas pour s'exercer une pure matière, mais des êtres ayant leur acte propre, voulant eux aussi durer comme ils sont, et se communiquer. Il y aura des conflits d'activité dont il n'appartient pas à la métaphysique de suivre les péripéties ; elle sait seulement que tout y étant déterminé par les essences, le résultat en sera nécessaire.

Voici donc, que nous possédons la substance matérielle aux causalités déterminées : mode d'être identique dans un nombre indéfini de réalisations.

Et nous voici maintenant devant la plus importante question de la métaphysique, celle de l'existence de Dieu. Cet être absolument un, nécessaire, infini, auquel l'intelligence se réfère pour juger les autres êtres, existe-t-il ? Est-il un idéal de pensée ? est-il un devenir qui se réalise ? est-il le principe éternellement actuel d'où tout dérive et vers qui tout s'élève ? Poser la question, c'est équivalemment se demander ce qui est premier, de la puissance qui restreint, qui limite, qui ne peut actuer le mode d'être qu'elle définit, ou de l'acte, mais alors de l'acte pur, illimité, puisque, antérieur à toute puissance, il ne rencontrerait aucune borne à son expansion et que de lui-même il *est*, sans restriction. Qui donc a la primauté, de l'Acte pur qu'instinctivement l'intelligence est plutôt portée à admettre comme seule réalité, ou de la puissance pure, inintelligible, sans aucune positivité, n'ayant même pas dans son absolue pauvreté de détermination à une perfection ultérieure ? Aristote et St Thomas d'Aquin n'ont pas hésité.

Nous ne parlerons pas plus longuement des preuves métaphysiques de l'existence de Dieu. Elles intéressent moins la suite de cet article, et elles ont trop d'importance pour être sommairement traitées. Remarquons que ce n'est point par des méthodes expérimentales qu'on peut

les découvrir, mais par l'approfondissement rationnel des exigences intimes des êtres qui nous entourent. Nous trouvons Dieu comme l'unique et nécessaire centre de perspective d'où chaque être et l'univers entier se laissent comprendre et unifier dans leur dépendance et leur participation à la même réalité. L'énigme du monde n'est donc pas résolue quand on a pu expliquer, fût-ce rigoureusement, les transformations phénoménales des choses parmi lesquelles nous vivons. Il resterait toujours, étant donné qu'il y a de l'être, à décider si l'être est par soi fini ou infini, et l'on verrait qu'il ne peut exister d'êtres limités, si n'existe en même temps l'Être illimité.

Au cours de son développement, la métaphysique rencontre le problème de la connaissance. Notre but nous permet de nous y attarder davantage. Ce que nous avons exposé de la métaphysique, est, nous le montrerons, ce qui fait l'arrière-fond de la science et l'explique : c'est en fonction du réel que le savant organise les phénomènes. Mais jusqu'à présent nous avons laissé les phénomènes dans l'ombre. Nous avons bien dit que le réel était donné sous les phénomènes, qui sont comme les témoins de ses amoindrissements ; mais ils n'ont pas été englobés dans le système. La théorie de la connaissance montrera précisément les rapports des données de la conscience.

La faculté sensible est matérielle. La sensation débute par une action du dehors reçue à la fois activement et passivement. C'est en effet moins une pure réception qu'une altération qui se produit lorsque, par exemple, un jet de lumière vient frapper la rétine ; l'état final de l'organe affecté dépend à la fois de ce qu'il reçoit et de ce qu'il est. « *Quidquid recipitur, ad modum recipientis recipitur* » disent les scolastiques et le bon sens. D'où le caractère relatif de la sensation : elle varie plus ou moins selon les personnes, les circonstances, les points de vue. L'objectif s'y mêle avec le subjectif. Le même objet, vu dans les mêmes conditions par des personnes normales cependant,

présente un aspect extérieur, semblable assurément, mais non pas identique. Bien plus, quelle ressemblance peut-on trouver entre la vibration que la corde métallique communique à l'air ambiant et le son immédiatement perçu par l'oreille ?

Mais toujours le sens réagit et spécifie son opération d'après la modification que lui a imposée l'objet. Cette opération entraîne la conscience de la sensation. Il serait malaisé d'expliquer ici pourquoi. Mais, notons que la conscience n'est pas à découvrir ; c'est un fait dont on part et dont on recherche les conditions logiques.

Toute l'activité sensible est astreinte aux conditions de la matière. Quoique foncièrement une, comme toute activité, dans sa fin qui est l'assimilation de l'être, elle se diversifie ; elle se succède dans le temps et découvre au fil de cette succession la diversité spatiale. Le sujet sentant, matériel, et ne pouvant ramasser dans une parfaite identité son « moi » partagé, ne peut être conscient de l'unité profonde de son opération. L'être avec son unité et sa nécessité lui échappe. La sensation ne comporte pas la conscience du réel comme tel.

Mais la connaissance humaine n'est pas seulement sensible. Nous ne voyons, nous n'entendons que du sensible, mais nous percevons dans ce sensible une valeur qui le dépasse infiniment ; nous le percevons dans les idées universelles avec une indépendance du temps et de l'espace que ne peut atteindre un être tout matériel, complètement emprisonné lui-même dans le temps et l'espace ; nous percevons aussi une unité et une nécessité internes, une valeur de réalité dont, nous venons de le voir, le sens n'a pas conscience. Telles sont les prémisses d'un des arguments qui concluent à l'existence en nous d'un principe immatériel, à l'existence de notre âme.

L'homme est donc sensitivo-rationnel. L'âme est un de ces êtres immatériels, limités par une essence, et tendant dans une activité immanente à l'assimilation du réel. Bien

que n'ayant pas l'intuition du réel, celui-ci lui est cependant lumineux. Abstraction au point de vue représentatif, car il transcende le sensible où se découpent toutes nos représentations, l'être est pour nous la valeur suprême, unique, absolue. C'est le réel, et lui seul, que nous voulons atteindre dans tout acte de l'intelligence comme aussi de la volonté. Toutes les conquêtes que réalisera l'activité de l'âme, lui seront une étape dans l'assimilation de l'être. La pensée ne doit pas être conçue comme un produit, mais comme un moment de cette activité. Et ces moments, ces étapes, partagent la valeur de l'être dans la perspective duquel ils sont placés. Ils la partagent, non par identité mais par analogie : ils sont des buts partiels, ils sont du réel qui n'est pas le réel plénier, et qui considéré en lui-même laisse l'intelligence insatisfaite et n'a de sens que rattaché au but final. N'en est-il pas ainsi dans toute activité? Celles-ci n'empruntent-elles pas à chaque instant leur caractère à la fin qu'elles poursuivent : joie ou peine, vice ou vertu ?

Cependant, tout en n'étant pas étreinte à fond par la matière, l'âme lui est unie. C'est le mystère de l'union substantielle de l'âme et du corps, mystère imposé par l'unité profonde de notre connaissance sensitivo-rationnelle. L'activité qui s'exerce dans le sens a chez nous sa racine dans l'âme. L'âme agit spontanément par son expansion propre, selon la forme de son dynamisme : l'être ; mais son union à la matière la contraint à particulariser son action suivant le donné reçu par le sens. Le phénomène se trouve ainsi englobé dans la marche vers l'être. Pour autant que l'activité s'achève dans le sens, elle ne s'accompagne pas en nous, pas plus que chez l'animal, de la conscience de réalité. D'autre part, le réel qu'atteint l'intelligence est caractérisé par le phénomène, aboutissant de l'opération sensible. Le phénomène se présente donc comme réel et à ce titre participe à l'unité et à la nécessité ; mais cela, non pas en vertu de

son contenu, mais en vertu de la fonction intellectuelle qui le domine. Dans un même acte de connaissance, nous atteignons par nos sens un phénomène, et par notre intelligence nous percevons que ce phénomène nous manifeste un mode d'être. Le mode d'être comme tel, au stade où l'intelligence le saisit, n'est nullement restreint par l'espace et le temps, qui sont d'ordre sensible. Nous le saisissons dans un concept universel.

Notre concept universel n'est pas je ne sais quel double sublimisé de l'image sensible. Les empiristes ont cru que telle était notre doctrine, et n'ont pas eu de peine à nous ridiculiser. Indépendamment de l'image sensible, concrète et particulière, d'un cheval, nous n'avons pas d'image intellectuelle du cheval abstrait. Mais, en présence de l'image sensible, nous avons conscience de nous trouver devant une réalisation particulière d'un type d'être, qui n'est du reste représentativement déterminé que par les détails de cette image. Les autres déterminations d'unité, de nécessité, de substantialité, de causalité, apportées par l'intelligence, ne sont plus représentables, elles sont la lumière de l'être, qui pénètre le phénomène.

Sensation, concept universel avec ses rapports au réel : tels sont les trois éléments qui se trouvent réunis dans toute connaissance humaine.

Nous avons vu comment la métaphysique utilisait ces éléments. Elle s'installait dans le réel ; elle s'attachait à ce qui pour être moins communément considéré est cependant l'élément le plus profond et le plus clair, celui qui donne un sens humain à tout le reste. Sur ce terrain, guidée par le principe de contradiction, elle s'efforçait de faire le système du monde. Elle arrivait à le concevoir (ne parlons que de la nature matérielle) comme un ensemble de substances aux causalités réciproques et déterminées, substances individuant des types génériques, et subordonnées au Dieu dont elles participent. La théorie de la connaissance nous a montré comment ce tableau

à priori rejoignait notre expérience psychologique de tous les jours. Les substances-causes nous sont manifestées dans les concepts universels ayant un phénomène pour contenu.

Voyons maintenant comment la science utilise les apports de la conscience pour édifier son tableau du monde. Celui de la métaphysique s'exprimait en termes de réel. Celui de la science s'exprimera en termes de phénomènes. Purement et simplement ? Non. Le phénomène comme tel est fluent, inorganisé. La science du pur phénoméniste pourrait tout au plus être, grâce à une mémoire prodigieuse, le souvenir constant d'un nombre plus ou moins considérable de faits concrets. En réalité, doué d'intelligence, le savant veut dominer les phénomènes par des concepts généraux qui introduisent de l'unité et de la nécessité dans sa synthèse. Or, précisément, de la sorte, il cherche à retrouver les substances-causes de la métaphysique. Peut-être n'y songe-t-il pas, mais son labeur n'a de sens que par un recours implicite au système réel du monde, tel que la réflexion du philosophe l'a édifié à priori. Comment départagera-t-il concrètement les substances et les causes ? Le concept rapportant les phénomènes au réel les unifie, les empreint de nécessité, les dégage du temps et de l'espace. Mais encore faut-il que les phénomènes se laissent ainsi traiter. Il faudra que l'observation et l'expérimentation qui secouent les phénomènes et multiplient les points de vue, montrent que les groupements phénoménaux unifiés à priori dans l'unité de l'être restent permanents de fait dans le temps et l'espace. Cette permanence permet à la longue d'affirmer que le groupement phénoménal envisagé recouvre bien un être unique et subsistant indépendamment de ses voisins ; c'est un premier pas. Par ailleurs les activités necessaires des substances recouvertes par ces groupements phénoménaux se révéleront

dans des consécutions constantes de phénomènes, et ce sera le second pas de cette ascension, des phénomènes aux substances-causes, qu'on appelle l'induction. A vrai dire, l'on nomme plus souvent induction la généralisation d'un fait observé un nombre limité de fois ; mais cette généralisation est une suite nécessaire de la découverte de substances aux activités essentielles, et n'est fondée que sur cette découverte. Si après avoir vu plusieurs fois l'oxygène se combiner avec l'hydrogène, sous l'action de la décharge électrique, nous concluons qu'il en sera toujours ainsi, c'est que nous croyons avoir atteint une des formes stables de l'activité de ces substances. Lorsque la science possède un certain développement, l'expérimentation se simplifie beaucoup. Une seule expérience peut suffire : car, en vertu des connaissances déjà acquises, plusieurs d'entre les causes possibles du phénomène actuellement envisagé peuvent être éliminées d'avance. C'est le cas dans ce que les expérimentateurs ont appelé l'*experimentum crucis*. Il demeure que les présupposés de cette méthode ont, eux, été acquis inductivement, et que ses résultats ont donc une valeur de même ordre que ceux de l'induction.

Il faut le dire clairement : il y a dans l'induction passage du moins au plus : constance dans les groupements et les consécutions n'est pas encore unité substantielle ou nécessité causale. Mais instinctivement l'intelligence réaliste du savant, métaphysicienne en l'occurrence quoi qu'il en pense, postule de l'unité, de la nécessité et se convainc de les avoir atteintes alors que l'expérience, forcément incomplète, les a tout au plus indiquées. La certitude de semblables conclusions n'a pas la fermeté de celles du métaphysicien. Mais ce serait déraisonnable cependant de ne pas les adopter, car à la longue les chances d'erreur deviennent infimes, quoique les conclusions restent toujours, théoriquement du moins, sujettes à revision. Mais un état d'esprit s'impose évidemment : la prudente

modestie. Le savant ne doit pas croire facilement avoir découvert dans les permanences de phénomènes les substances élémentaires : car des substances diverses peuvent, par le jeu normal de leurs activités, voisiner continuellement dans les circonstances habituelles, mais il est possible qu'un jour la nature ou l'expérimentation les sépare. En second lieu, le savant ne remarque souvent que les extrémités d'une chaîne de consécutions : les états d'équilibre initial et final. Il atteint une causalité mais non pas une causalité immédiate : il y a lieu de chercher les étapes intermédiaires.

Le vrai savant n'est guère exposé à des méprises à ce sujet. Il ne croira pas aisément avoir définitivement organisé les phénomènes. Il cherchera à décomposer les substances, à trouver les étapes des causalités. L'être, avons-nous vu, est un de droit. C'est l'expérience qui nous contraint d'introduire en lui la multiplicité : il est clair en effet que les apparences ont semblé longtemps rendre irréductibles les uns aux autres les corps simples de la chimie. Mais si le propre de la science est de se mouvoir parmi les phénomènes, il est surtout d'organiser ces phénomènes par le réel qui les dépasse. La science s'efforcera donc de réduire la multiplicité en question dans la mesure où les phénomènes le permettent. Des expérimentations nouvelles, guidées par ce désir d'unification, pourront découvrir des substances élémentaires aux activités moins diverses. Si l'expérience ne donne pas les résultats espérés, le savant essaiera d'une hypothèse. Le maximum de simplification est atteint par les théories mécaniques.

Les théories mécaniques oublient dans la détermination des substances et des activités, la diversité qualitative présentée par les sens. Elles ne s'inquiètent que des propriétés quantitatives du phénomène. Toutes les réalités de l'expérience ont un aspect quantitatif, signe de leur matérialité : « *Omnia in mensura et numero et pondere disposuisti.* » Toute substance matérielle se signale elle-

même par des rapports quantitatifs fondamentaux, spécifiques. Une forme accidentelle, une qualité passagère introduit à son tour de nouveaux rapports qui la caractérisent. Les faits confirment ces vues scolastiques. Les diverses substances ont leur poids moléculaire déterminé. Un son peut s'identifier par un nombre donné de déplacements d'air, dans un temps donné. Les couleurs ont, le long du spectre normal, une position chiffrée. La lumière dans certaines conditions réalisées, par exemple, au cours des expériences d'interférence manifeste des localisations et des périodicités intrinsèques. Le savant s'efforcera de faire le système du monde en n'utilisant que son aspect quantitatif. Il rapprochera des phénomènes très divers pour les sens, tels que la chaleur, la lumière, les rayons X, parce qu'il y découvre des analogies quantitatives. Il se méfie de la qualité, qui, nous l'avons vu, est partiellement subjective, tandis que la quantité, imposée par la dispersion matérielle tant des corps que de l'organe du sens, marque un élément commun au sujet et à l'objet : l'objectif et le subjectif s'y recouvrent. De plus, ses manifestations : l'espace et le temps, sont conditions à priori de l'expérience : ce sont les seuls éléments qu'on ne peut en abstraire. Mais surtout, l'organisation du monde basée sur l'aspect quantitatif des phénomènes peut s'unifier indéfiniment. Il est théoriquement possible d'arriver à reconstituer le tableau quantitatif du monde, en le supposant composé d'éléments identiques suffisamment petits, doués de mouvements et par là de forces. La substance et l'activité seraient alors représentées uniquement par des combinaisons de l'espace et du temps. Mais les théories mécaniques ne sont pas arrivées à ce dernier terme de leur évolution : souvent encore, elles englobent de la qualité, et de toutes façons s'étendent à des domaines restreints.

Remarquons que cette unification à laquelle tend la théorie scientifique, bien que guidée par l'unité foncière

de l'être, est toute différente de l'unification réalisée en métaphysique. La métaphysique hiérarchise l'être. Faisant participer le multiple à l'un, elle ramène la multiplicité à l'unité dans la mesure où l'exige et le permet l'ensemble des données de notre conscience. Elle affirme une réelle dualité entre l'Être parfait et les êtres limités ; mais elle ne comprend ceux-ci que dans la dépendance de Dieu.

La science, elle, unifie le type en morcelant davantage encore les réalisations. Elle unifie moins les êtres que leur représentation. Et comme c'est l'être qui nous intéresse, elle ne peut parvenir à une systématisation du monde qui satisfasse pleinement notre intelligence.

Nous ne discuterons pas la valeur objective ou seulement organisatrice des hypothèses et des théories. La Revue en a récemment entretenu ses lecteurs en plusieurs articles signés d'auteurs compétents (1).

Mais, qu'elles soient objectives ou non, les théories n'entrent dans la science qu'en empruntant une valeur à la métaphysique. Elles organisent en délimitant des substances et en déterminant leurs causalités nécessaires. Si même elles ne découvrent pas celles qui de fait composent le monde, elles disent : « Voici un système — heureuses si elles pouvaient ajouter que ce système est le seul ! — de substances et de causes qui rendrait compte des constatations actuelles de l'expérience et qui permettrait de la prévoir ».

Si formaliste qu'il soit, le savant ne peut donc nier l'objet de la métaphysique sans renoncer à sa science.

La science se demande comment il faut imaginer le monde — comment imaginer, car elle s'occupe du sensible ; comment il faut l'imaginer, car le sensible n'est

(1) A. Witz, *Le conflit sur la valeur des théories physiques.* Janvier-avril 1920.

V. Schaffers, S. J., *Pierre Duhem et la théorie physique.* Janvier 1922.

que la manifestation d'un réel absolu atteint par l'intelligence. Nous reconnaissons cependant, que le savant est très exposé à dédaigner la métaphysique, et cela par déformation professionnelle. Son attention se porte sur la représentation : il y puise ses matériaux et c'est elle qu'il reconstruit. Il a raison, c'est ainsi qu'il doit faire. Il suit la voie propre à la science, dans la poursuite de la vérité. C'est depuis que la science suit fidèlement cette voie qu'elle marche avec sécurité d'un pas sans cesse accéléré, qu'elle découvre de nouvelles et de nouvelles régions. Mais, comme le voyageur se laisse charmer par les dehors, par les attraits du paysage et les commodités du chemin, sans songer à la place, dans l'univers, du globe qui les porte, ainsi le savant ne démêle plus le fond intime des choses et de ses propres méthodes.

Son intelligence organise ; cette organisation s'impose avec une telle évidence qu'il ne remarque plus les problèmes qu'elle pose. Il croit avoir tout dit en disant : « J'organise ceci ou cela ; le monde est ceci ou cela ». Oui, mais vous *organisez*, mais le monde *est*, et dans l'un comme dans l'autre de ces deux mots se trouve implicitement incluse toute la métaphysique.

Pr. Colmant, S. J.

VARIÉTÉS

I

LES THÉORIES D'EINSTEIN EXPOSÉES PAR JEAN BECQUEREL

La sorte de fascination exercée sur le grand public par les idées d'Einstein, même confusément entrevues, a fait éclore une multitude d'exposés variés s'efforçant de rendre intelligible le sens de la nouvelle doctrine pour des lecteurs ne possédant qu'un minimum d'initiation scientifique, voire totalement étrangers à l'usage du langage symbolique de l'analyse mathématique. Mais il n'est pas bien sûr que ces tentatives, si estimables qu'elles soient, aient pleinement atteint leur but et que l'intelligence de ces idées nouvelles, qui, il faut bien le dire, choquent violemment *a priori* nos habitudes d'esprit, ait effectivement pénétré dans la masse du public non pourvu d'éducation mathématique suffisamment avancée.

Suivant la spirituelle remarque de M. Émile Picard, il est plus facile, pour arriver à la pleine compréhension des théories einsteiniennes, d'apprendre les mathématiques que de s'en passer.

D'autre part, les mémoires ou ouvrages relatifs à la matière dus à des physiciens-mathématiciens de profession, ne sont abordables que pour les spécialistes.

Entre ces deux extrêmes, il y avait place pour un exposé relativement simplifié par rapport aux travaux magistraux qui ont fondé la nouvelle doctrine, mais s'adressant toute-

fois résolument à ceux-là seulement qui entendent le langage mathématique.

C'est un tel exposé que M. Jean Becquerel a été amené à composer pour les élèves de l'École Polytechnique et qui a fourni la matière de l'excellent volume que vient de publier (1) ce savant distingué par qui, pour la quatrième fois, le nom de Becquerel se trouve inscrit dans les annales de la physique.

Il nous a semblé qu'un résumé de cet exposé pouvait n'être pas dépourvu d'intérêt pour des lecteurs possédant une certaine initiation mathématique, à qui il pourra servir d'introduction à la lecture de l'ouvrage même de M. Becquerel. Il n'est pas mauvais, avant d'aborder l'étude détaillée de notions aussi foncièrement nouvelles, d'en avoir une vue d'ensemble permettant, au fur et à mesure que l'on avance dans cette étude, de savoir à peu près où l'on va.

Le point de départ de la révolution opérée par Einstein tient dans la reconnaissance de ce fait que toutes nos observations sont fondées sur la constatation d'événements définis par quatre paramètres (qu'on peut appeler des coordonnées) dont trois se rapportent à l'espace et un au temps. Une analyse très délicate, due à M. Langevin, des notions de temps et d'espace (2), a permis de discerner que l'idée de temps absolu est fondée sur la notion de solide indéformable pouvant servir à propager instantanément un signal. Cette notion entraîne celle de *simultanéité absolue* de deux événements et d'*intervalle de temps absolu* entre deux événements.

La notion d'espace absolu dérive de la même idée de solide parfait ou de l'invariance de forme des figures géométriques. Si deux événements sont simultanés, leur distance dans l'espace est indépendante du système de référence ; c'est cette condition d'invariance qui définit le groupe de transformations de la géométrie, et l'application des formules du groupe de Galilée (concernant les mouvements rectilignes

(1) *Le principe de relativité et la théorie de la gravitation ;* un vol. in-8° de 342 pages. Paris, Gauthier-Villars, 1922. — Il convient de ne pas confondre cet ouvrage avec l'opuscule beaucoup plus élémentaire donné par l'auteur sur le même sujet, dont une analyse a été donnée dans la livraison de juillet 1922 de la REVUE (p. 152).

(2) BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ PHILOSOPHIQUE (janvier 1922) et, dans la collection SCIENTIA : *L'évolution de l'espace et du temps* (1911.

et uniformes), montre que l'invariance est conservée pour les événements simultanés, le temps étant supposé absolu. Au contraire, si deux événements ne sont pas simultanés, leur distance spatiale dépend du système de référence, alors que la durée qui les sépare reste invariante. Il y a là, entre les propriétés de l'espace et celles du temps, une dissymétrie qui peut paraître choquante et qui disparaît dans la théorie nouvelle.

A la cinématique définie par le groupe de Galilée la mécanique classique ajoute les notions de masse et de force, la première étant, elle aussi, notée *a priori* comme absolue. Dans cette mécanique, le principe de relativité se réduit à énoncer l'impossibilité, par des expériences mécaniques faites à l'intérieur d'un système clos, de mettre en évidence un mouvement de translation uniforme de ce système, alors que toute accélération a un caractère absolu ; en particulier, le caractère absolu de toute rotation est décelé par les effets de force centrifuge et de force centrifuge composée, par exemple dans l'expérience du pendule de Foucault. Tel est toujours aujourd'hui le point de vue de ceux qui sont dits maintenant des « absolutistes ».

Pour déceler un mouvement rectiligne et uniforme absolu, au sens de la mécanique classique, force était donc de mettre en évidence et de mesurer une vitesse, *par rapport à un milieu extérieur*. Ce milieu, on avait pensé le trouver dans l'éther des physiciens, doué de propriétés quasi matérielles, pénétrant la matière et remplissant tout l'espace avec lequel on l'identifiait.

Toutefois une question préjudicielle se posait : l'éther ne serait-il pas entraîné par la matière en mouvement ? La célèbre expérience de Fizeau, confirmative d'une formule de Fresnel, semblait l'établir ; mais Lorentz a fait voir, depuis lors, que le résultat de cette expérience pouvait s'expliquer par l'entraînement des électrons qui modifient la vitesse de propagation de la phase et conclu que l'éther devait être tenu pour non entraîné par la matière.

C'est l'expérience fondamentale de Michelson qui a amené Einstein à fixer son point de vue dans la question de la relativité. Cette expérience avait, comme on sait, pour but de révéler un effet du second ordre (c'est-à-dire de l'ordre

du carré du rapport de la vitesse v du système de référence à la vitesse c de la lumière dans l'éther) prévu par la théorie mécanique de la lumière. Le résultat négatif obtenu mit en évidence un conflit brutal entre l'expérience et la théorie mécanique. En vue de sauvegarder les bases de la mécanique classique et la notion du temps absolu, Fitzgerald et Lorentz ont émis leur hypothèse, aujourd'hui bien connue, de la contraction absolue de tous les corps, par l'effet du mouvement dans la direction de la vitesse.

Le point de vue d'Einstein a été tout différent. Il se résume dans l'énoncé des deux principes suivants :

1° *Principe de relativité* (restreint au mouvement de translation uniforme) : les lois des phénomènes physiques (et non plus seulement des phénomènes mécaniques) sont les mêmes dans tous les systèmes en translation uniforme.

2° *Principe de l'isotropie de propagation de la lumière :* dans tous les systèmes en translation uniforme (c'est-à-dire dans lesquels on ne constate aucun champ de force d'inertie), la vitesse de la lumière est la même dans toutes les directions ; elle ne dépend pas de l'état de mouvement de la source lumineuse.

Ce dernier point a d'ailleurs été vérifié de façon très remarquable par les observations de de Sitter sur les étoiles doubles très éloignées.

L'expérience de Michelson a joué un rôle capital en ce sens qu'elle a appelé l'attention des physiciens sur la discordance entre les lois des phénomènes optiques et les prévisions déduites de la mécanique classique ; mais elle n'eût pas été suffisante pour établir la théorie d'Einstein. La base solide de cette théorie réside dans le fait que *les équations fondamentales du champ électromagnétique, dues à Maxwell, n'admettent pas le groupe de transformations de Galilée.* Le groupe qui conserve l'invariance des lois de l'électromagnétisme dans tous les systèmes est celui qui a été découvert par Lorentz (aux termes du second ordre près, rétablis par Einstein) ; mais c'est Einstein qui a, le premier, identifié avec le temps local la variable introduite par Lorentz à titre de pure fiction mathématique.

Dès le début de sa théorie, Einstein s'est, au reste, livré à une analyse approfondie de la notion de temps. Il a montré

comment, grâce à l'isotropie de propagation nécessitée par les lois de l'électromagnétisme, on peut, dans un système déterminé (en translation uniforme) synchroniser toutes les horloges par signaux électromagnétiques.

Les deux principes de relativité et d'isotropie, rappelés plus haut, qu'Einstein a formulés, ont pour conséquence immédiate la constance de la vitesse de la lumière dans tous les systèmes et conduisent précisément aux formules de Lorentz ; on retrouve ainsi les formules qui conservent l'invariance des lois du champ électromagnétique.

Entre les groupes de transformations de Galilée et de Lorentz-Einstein, c'est à l'expérience de prononcer, et c'est dans le sens du second qu'elle le fait, l'invariance de la vitesse de la lumière étant considérée comme un fait expérimental. Cette constance, qui fait de la vitesse de la lumière une *vitesse limite*, implique la relativité de l'espace et la relativité du *temps physique*. Il est, au reste, essentiel de remarquer qu'il s'agit bien ici du temps tel qu'il intervient dans nos mesures et non d'une fiction mathématique. La théorie d'Einstein, entièrement fondée sur l'expérience, est une *théorie physique*.

L'union de l'espace et du temps a pris, en quelque sorte, son individualité dans la remarquable théorie de l'*univers* de Minkowski, dans laquelle les deux invariants fondamentaux de la doctrine classique (temps absolu et distance géométrique) sont remplacés par un seul, l'*intervalle d'univers*, contenant à la fois les coordonnées d'espace et de temps.

D'après cette conception, l'*espace-temps* ou *univers* est l'ensemble de tous les événements, englobant, à la fois, le passé, le présent et l'avenir. Le fait qu'il comporte quatre paramètres indépendants peut le faire regarder comme un continuum à quatre dimensions, de même que les surfaces et l'espace de la géométrie ordinaire sont respectivement des continuums à deux et à trois dimensions.

Mais il convient de ne pas confondre cet univers quadridimensionnel avec un espace à quatre dimensions qui n'est qu'une fiction mathématique. M. Becquerel est revenu d'une façon très claire, dans une publication récente (1), sur cette

(1) *Conférences sur la relativité et la gravitation universelle*, faites en juillet 1922 au Cercle naval de Toulon. Première conférence, p. 21.

distinction qui n'a pas toujours été bien comprise et qui, du point de vue mathématique, repose sur le changement de signe des trois termes relatifs aux coordonnées spatiales dans l'invariant fondamental. La confusion signalée à ce propos peut tenir à l'artifice mathématique auquel Minkowski a eu recours pour obtenir une sorte de représentation géométrique de l'univers, en assimilant le temps à une longueur *imaginaire* ; mais il convient de ne pas perdre de vue que ce mode de représentation, qui peut être commode, est tout à fait étranger à la réalité physique.

Cet invariant fondamental s^2 (carré de l'intervalle d'univers) a permis à Langevin d'établir une théorie clairement ordonnée des couples d'événements.

Si $s^2 < 0$, on dit qu'il s'agit d'un *couple dans l'espace*, parce que les deux événements ne peuvent jamais, par un choix particulier du système de référence, être amenés en coïncidence dans l'espace, alors qu'ils peuvent l'être dans le temps, c'est-à-dire rendus simultanés, auquel cas leur distance spatiale est minimum. Deux tels événements, dont l'ordre de succession dépend du choix du système de référence, sont nécessairement indépendants l'un de l'autre.

Si $s^2 > 0$, on a ce qu'on appelle un *couple dans le temps* pour lequel, au contraire, il peut y avoir coïncidence dans l'espace et non dans le temps, et, par suite, il existe un ordre de succession parfaitement déterminé, compatible, le cas échéant, avec une relation de cause à effet. La durée qui s'écoule entre ces éléments est d'ailleurs minimum dans le système de référence pour lequel ils coïncident dans l'espace.

L'invariant s^2 permet aussi d'établir immédiatement la contraction des longueurs et la dilatation des temps qui consistent en ce que, si deux observateurs appartenant à des systèmes différents sont munis de règles et d'horloges identiques, chacun d'eux estime, d'après les mesures faites dans son système, que l'autre dispose d'une règle plus courte et d'une horloge marchant plus lentement.

La succession en ordre simplement infini des événements définis par la variation des quatre coordonnées (trois d'espace et une de temps) constitue ce qu'on appelle une *ligne d'univers*. La longueur d'un arc de ligne d'univers se définit comme une longueur d'arc en géométrie ordinaire par inté-

gration de ds, ce symbole représentant ici l'intervalle entre deux événements infiniment voisins, donné par $ds^2 = c^2dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$. Cette intégrale a d'ailleurs un sens absolu, car elle est, comme les ds, indépendante du système de référence.

Dans un système lié à une portion de matière, les dx, dy, dz sont nuls et $ds = cd\tau$, τ étant le *temps propre*. C'est le *temps réel* pour cette portion de matière. S'il s'agit d'un observateur, c'est le *temps vécu*.

Entre deux événements déterminés, on peut imaginer une infinité de lignes d'univers. La plus longue et, par suite, le temps propre le plus long correspondent au mobile passant d'un événement à l'autre d'un mouvement rectiligne et uniforme ; tout observateur qui, entre deux événements, a subi une accélération, a *mesuré* un temps plus court que l'observateur qui a conservé un mouvement rectiligne et uniforme. C'est la circonstance qu'illustre l'histoire, aujourd'hui classique, du voyageur de Langevin, où d'aucuns croient ne voir qu'une simple absurdité, faute d'en saisir exactement le sens. Si même on admet que la vie matérielle est constituée par une succession de phénomènes physico-chimiques se ramenant tous à des mouvements de molécules, d'atomes et d'électrons, le voyageur entre son départ et son retour a réellement moins vieilli que celui qui l'a attendu.

Somme toute, le mouvement rectiligne et uniforme joue, dans l'univers « euclidien » de Minkowski, le rôle qui appartient à la ligne droite dans la géométrie euclidienne, à cette différence essentielle près toutefois, que la ligne d'univers qui se traduit par le mouvement rectiligne et uniforme comporte une longueur maximum au lieu que la ligne droite euclidienne comporte une longueur minimum ; dans les deux cas, toutefois, il s'agit d'une ligne de longueur extremum, c'est-à-dire d'une *géodésique*.

L'introduction, à la base de la physique mathématique, des concepts nouveaux d'Einstein fait apparaître certaines théories physiques sous un aspect nouveau que M. Becquerel s'est attaché, avec le plus grand soin, à mettre en évidence ; tels, dans le domaine de l'optique, les phénomènes se rapportant aux systèmes en mouvement relatif, pour lesquels Langevin a donné une ingénieuse théorie d'ensemble faisant

ressortir la connexité qui existe entre les trois ordres de phénomènes que présentent les ondes planes périodiques, en ce qui concerne respectivement la période (effet Doppler), la direction (aberration) et la vitesse de propagation (entraînement).

Pour ce qui est du champ électromagnétique, l'exposé de M. Becquerel peut être regardé comme une amplification du mémoire initial d'Einstein (1905), rétablissant certains intermédiaires sautés par le grand physicien et qu'il n'était pas inutile d'expliciter pour la majorité des lecteurs. Cela a même été pour M. Becquerel l'occasion d'imaginer certaines démonstrations non dépourvues d'une véritable élégance comme celle qu'il a fondée sur la considération des vecteurs d'univers pour la théorie électromagnétique de l'effet Doppler.

Quant à la dynamique, il va de soi qu'elle se trouve profondément modifiée par l'adoption du point de vue d'Einstein. La transformation des composantes de l'accélération résulte immédiatement des formules de Lorentz ; pour celle des composantes de la force, M. Becquerel use de l'artifice auquel a eu recours Einstein, qui consiste à passer par le cas de la force électrique et à remarquer que la forme des équations ne saurait changer dans le cas d'une force quelconque, attendu que si une telle force fait équilibre à une force électrique, c'est là un fait indépendant de tout système de référence. Pour ingénieuse que soit cette méthode, on peut regretter qu'elle ait un caractère par trop artificiel. Au cours de ses fameuses conférences du Collège de France, Einstein a fait allusion, en y attachant une grande importance, à un moyen trouvé par Langevin de supprimer la nécessité de passer par l'intermédiaire de la force électrique ; mais il ne semble pas que le savant physicien français ait encore fait aucune publication sur ce sujet.

La question capitale de l'inertie de l'énergie, traitée d'après le mémoire original d'Einstein, mais en tenant compte d'une conférence ancienne de Langevin, aboutit à des considérations, inspirées du savant français, d'où résulte que les anciens principes de conservation de la masse, de l'énergie et de la quantité de mouvement sont fusionnés en un principe unique qui seul a un sens absolu, indépendant de tout système de

référence, celui de la conservation de l'impulsion d'univers, dont les composantes d'espace sont les trois composantes habituelles de la quantité de mouvement et dont la composante de temps est l'énergie.

Malgré la complication apparente due à la variabilité de la masse, la dynamique nouvelle peut, en un certain sens, être regardée comme plus simple et surtout plus cohérente que la dynamique classique.

Pour terminer ce qui a trait à la relativité restreinte, M. Becquerel cite, d'après Langevin, diverses vérifications expérimentales dont la plus remarquable paraît être celle qui a trait à l'explication donnée par Sommerfeld de la structure complexe des raies spectrales.

Une fois acquise la notion de l'inertie de l'énergie, le passage de la relativité restreinte à la relativité généralisée se fait par la *pesanteur de l'énergie*, démontrée par les expériences d'Eôtvôs. L'énergie rayonnante elle-même doit subir l'action d'un champ gravifique.

Il résulte de là que la conception du mouvement rectiligne et uniforme devient une fiction, car la gravitation s'exerce partout à un degré plus ou moins grand. La loi d'inertie de Galilée ne trouve nulle part son application, du moins en toute rigueur. C'est une loi limite qui correspond au cas où le champ de gravitation serait nul.

Un mobile abandonné à lui-même, un rayon lumineux ne suivent pas une droite d'univers. *La force de gravitation présente tous les caractères d'une force d'inertie et non d'une force appliquée.* Si un mobile ne suit pas une droite d'univers, c'est qu'il n'en existe pas. Autrement dit : l'hypothèse simple d'un univers *homogène* ne suffit pas aux besoins des physiciens, pas plus que la géométrie du plan ne suffirait aux besoins du géodésien. On est ainsi amené à renoncer à une des restrictions d'autrefois, celle de l'univers euclidien, et à voir dans la gravitation l'indice d'un univers non euclidien auquel peut s'étendre la notion géométrique de courbure.

Remarquons en passant que ce sont là des notions que notre esprit ne parvient pas à imaginer sous forme, en quelque sorte, visuelle et que notre raison ne peut accepter que comme imposées par la rigueur de déductions ayant un caractère mathématique, et c'est pourquoi il ne paraît guère facile de les rendre accessibles à la grande masse du public.

Ce qui vient d'être dit pourrait sembler aussi conduire à l'abandon du principe de relativité tel qu'il a été envisagé jusqu'ici, à propos de la conception limite de la translation uniforme, alors que les effets de l'accélération et de la rotation paraissent le contredire. Ce serait un peu agir à la façon d'un géomètre qui, rencontrant pour la première fois une surface courbe non développable sur un plan, déclarerait qu'il n'y a plus de lois indépendantes du système de coordonnées parce que la géométrie euclidienne du plan ne s'applique plus sur la surface.

Einstein a donc généralisé le principe de relativité en regardant tous les systèmes de référence comme équivalents pour formuler les lois de la nature, ces lois étant covariantes vis-à-vis de transformations de coordonnées arbitraires. Les lois de la physique doivent pouvoir être mises sous une forme intrinsèque, indépendante du système de coordonnées employé. Cette généralisation s'impose parce que toutes les lois sont fondées sur la constatation de coïncidences absolues, c'est-à-dire d'intersections de lignes d'univers, indépendantes de tout système de référence.

Le principe de relativité exige que les équations qui expriment les lois générales conservent leur forme dans un changement de coordonnées arbitraire ; il faut introduire, dans l'expression de ces lois, les paramètres caractéristiques du champ de gravitation.

C'est par une sorte d'extension de la théorie des surfaces de Gauss qu'Einstein est parvenu à résoudre le problème. Il a dû pour cela recourir à la notion mathématique du *tenseur*, à laquelle se rapporte le *calcul différentiel absolu* créé par Riemann, Christoffel, Ricci et Levi-Civita ; et il est indispensable, pour être à même de saisir le sens de la théorie de la gravitation d'après Einstein, de posséder les éléments de ce *calcul tensoriel*, résumés par l'auteur, en un chapitre spécial, d'après Einstein et Eddington.

Cette théorie de la gravitation peut être regardée comme la conquête capitale d'Einstein. Après avoir suivi pas à pas la méthode de l'inventeur, M. Becquerel indique, d'après Eddington, une façon tout intuitive d'écrire immédiatement la loi de gravitation, qui consiste, la loi de conservation de l'impulsion et de l'énergie étant regardée comme un fait

expérimental, à chercher son expression tensorielle la plus générale. Il subsiste dans l'expression une certaine constante universelle, inconnue mais certainement très petite et négligeable dans les applications astronomiques, non nulle cependant, ce qui conduit à la notion de la *finitude* de l'espace.

La loi de la gravitation dans le vide s'exprime par dix équations se réduisant à six distinctes seulement à cause de quatre identités fondamentales qui expriment qu'un certain tenseur géométrique est de divergence nulle, c'est-à-dire conservatif.

Dans la matière, la densité, considérée seule dans l'ancienne théorie, est remplacée par un tenseur à seize composantes, dont dix seulement sont distinctes, savoir le tenseur matériel ou tenseur impulsion-énergie.

La loi de la gravitation, qui s'exprime par dix équations, contient la loi générale d'inertie (qui remplace la loi de Galilée) : « tout mobile abandonné à lui-même a pour ligne d'univers une géodésique ». Cette loi résume d'ailleurs à elle seule, dans la nouvelle doctrine, toutes les lois de la dynamique.

Il faut remarquer que le raccord entre la relativité restreinte et la relativité généralisée se fait par l'intermédiaire de l'univers euclidien de Minkowski, tangent à l'univers réel, exactement comme, en géométrie, le raccord entre la géométrie des surfaces courbes et celle du plan se fait par l'intermédiaire du plan tangent.

La question du champ de gravitation d'un centre matériel, à laquelle se rapporte la formule de Schwarzschild, fondamentale pour les applications astronomiques, a, comme on sait, soulevé d'assez ardentes controverses. L'expérience est bien d'accord avec la formule de Schwarzschild, mais Painlevé a montré que d'autres coordonnées pouvaient être employées sans qu'il y eût de désaccord avec les observations dans les limites d'approximation des mesures. Il semble bien cependant, que l'on puisse attribuer à la formule de Schwarzschild un caractère physique, autrement dit, que les grandeurs physiques qui y figurent soient celles que peuvent donner nos instruments. Mie a d'ailleurs démontré qu'en partant d'un continuum euclidien à dix dimensions et conservant la géométrie euclidienne (généralisée, bien entendu), on arrive à la formule de Schwarzschild, déterminée d'une façon

univoque, si l'on fait une projection orthogonale de l'univers réel sur l'univers euclidien asymptote. Comme nous traitons l'univers comme euclidien, et que nous appliquons les formules euclidiennes, il semble bien que nous ayons tacitement recours à cette projection, et, dès lors, la formule de Schwarzschild apparaît comme la seule et unique formule physique. Pour un peu métaphysique qu'elle puisse sembler, la raison de Mie ne laisse pas d'être convaincante ; en tout cas l'argument montre que les coordonnées de Schwarzschild jouent un rôle privilégié.

La loi de Newton se déduit, en première approximation, de celle de Schwarzschild. Elle résulte, d'ailleurs, directement de la loi générale de la gravitation, toujours à titre de première approximation. Si l'on supprime dans cette loi les termes qui sont pratiquement très petits, le noyau restant se confond avec la vieille loi newtonienne, et « les choses se passent comme si » il y avait effectivement une attraction régie par cette loi.

La loi de Newton correspond à un champ statique, mais, même dans un champ rigoureusement statique, elle ne constitue qu'une première approximation.

Dans un champ non statique, à condition de choisir convenablement les coordonnées, de façon à les faire correspondre à ce que nous appelons ordinairement longueur et temps, on trouve que les influences gravifiques se propagent avec la vitesse de la lumière. La démonstration de ce fait, due à Eddington, a été complétée par M. Becquerel en ce sens qu'il a fait voir que ce résultat comporte un degré d'approximation du même ordre de grandeur que celui de la loi de Newton.

De la formule de Schwarzschild se déduisent le mouvement des planètes et de leurs satellites, le mouvement du périhélie, la déviation de la lumière et le déplacement des raies spectrales vérifié par Pérot.

La généralisation des équations du champ électromagnétique est d'une importance capitale. Einstein a montré que les équations habituelles (Maxwell-Lorentz) sont la forme dégénérée, en coordonnées galiléennes, d'équations tensorielles générales auxquelles il lui a été possible de remonter. Les lois tensorielles générales doivent exprimer les lois de

l'électromagnétisme sous leur forme la plus générale, dans un champ de gravitation quelconque. Einstein a été ainsi conduit à considérer un quadrivecteur potentiel électromagnétique (en coordonnées galiléennes, ce qui suppose un univers euclidien, les composantes d'espace du potentiel constituant le potentiel-vecteur de l'ancienne théorie, et la composante de temps, le potentiel scalaire électrostatique). Il existe aussi un quadrivecteur-courant, dont les composantes d'espace constituent (en coordonnées galiléennes) le courant de convection, et dont la composante de temps est la densité de charge envisagée dans la théorie ordinaire.

Les lois générales qui résument toutes les lois de l'électromagnétisme sont extrêmement simples. Elles apparaissent à l'esprit comme plus claires que les lois de Maxwell dont la signification est un peu masquée par leur forme dégénérée.

Peut-être n'a-t-il jamais été réalisé de synthèse plus remarquable que celle qui a pris corps dans la théorie d'Einstein par quoi la mécanique de la matière et la mécanique de l'éther ont été réduites à une mécanique unique. C'est une œuvre devant laquelle on reste saisi d'admiration ! Mais, nous le répétons, on ne peut en comprendre toute la beauté que si l'on est capable d'en suivre pas à pas tous les développements mathématiques.

Débordant le terrain solide des faits susceptibles de vérifications expérimentales, la théorie aboutit à des questions, comme celles de la courbure et de la finitude de l'espace, qui confinent à la métaphysique.

Einstein est arrivé à la conception de la finitude de l'espace de plusieurs manières : d'abord par le *postulat de la relativité de l'inertie*, en vertu duquel une portion de matière n'a d'inertie que relativement à l'ensemble de la matière existante. Ce qui est très frappant, c'est que la théorie électromagnétique et la théorie électronique de la matière conduisent au même résultat : la courbure totale (qui est une généralisation de la courbure de Gauss) ne saurait être nulle dans le vide.

C'est lorsqu'on en arrive aux conceptions touchant la forme d'ensemble de l'univers que l'on dépasse complètement les limites accessibles à l'expérience et, par suite, que l'on entre pleinement dans le domaine de la métaphysique. On se trouve là en face d'hypothèses auxquelles on peut

s'intéresser avec passion, mais où, cependant, on ne doit voir que des hypothèses, sans qu'il puisse être dit que ce soient les seules possibles en conformité avec la loi de la gravitation.

Après avoir beaucoup développé les hypothèses cosmologiques d'Einstein et de Sitter, M. Becquerel, entrant résolument dans la voie de la métaphysique, a cherché à faire concevoir quel pourrait être le point de vue d'un « sur-observateur » en le comparant au point de vue de l'homme qui, faute d'une dimension, doit se résigner à ne pas atteindre à la nette perception de la courbure de l'espace.

Les théories d'Einstein ont, comme il fallait s'y attendre, donné déjà naissance à des généralisations : celle de Weyl d'abord, celle d'Eddington ensuite qui constitue, si l'on peut dire, une sorte de sur-généralisation. Voici, *grosso modo*, de quoi il s'agit :

Le champ de gravitation n'est autre que la manifestation de la courbure de l'univers en présence de la matière, et, de même que sur une surface courbe, la direction n'y est pas intégrable. Que l'on suppose que la longueur ne le soit pas non plus ; cette non-intégrabilité de la longueur va se traduire par un autre champ de force, et l'on retombe précisément ainsi sur les lois de Maxwell généralisées. Mais rien ne dit que ce ne soit pas là une concordance purement formelle ; et, sur ce point, Einstein n'est pas sans faire quelques réserves.

Eddington va plus loin encore. Il supprime la restriction, encore admise par Weyl, que la variation de longueur d'un vecteur par déplacement parallèle soit indépendante de la façon dont s'effectue le transport de ce vecteur, et il aboutit ainsi à une géométrie plus générale encore ; mais on ne saurait affirmer que la clarté augmente au fur et à mesure que l'on progresse parmi ces généralisations successives. On y rencontre toutefois un résultat frappant : Eddington a montré que, si nous admettons la géométrie de Weyl, et, *a fortiori*, la sienne, il doit nous apparaître deux champs de force de nature différente et cinq lois de conservation dont quatre sont liées à la non-intégrabilité de la direction et une à la non-intégrabilité de la longueur. Or, c'est bien là ce que nous avons constaté en reconnaissant l'existence du champ de gravitation auquel est liée la conservation de l'impulsion-énergie qui se traduit par quatre formules, et celle du champ

électromagnétique auquel est liée la conservation de l'électricité ne donnant lieu qu'à une formule.

Nous avons essayé, dans les pages qui précèdent, de donner, en langage courant, une idée d'ensemble de la physionomie qu'offre, à travers le symbolisme mathématique, seul moyen d'expression permettant quelque précision en un tel domaine, le remarquable exposé de M. Becquerel. Un tel résumé peut être de nature à faciliter la lecture de cet exposé, pour la raison donnée au début de cet article ; il ne saurait, en tout cas, y suppléer ; et nous estimons que quiconque possède une connaissance moyenne de l'analyse mathématique et de la mécanique rationnelle ne saurait trouver de meilleur guide pour se diriger vers ces nouveaux et prestigieux horizons révélés à nos regards par le génie d'Einstein.

PHILBERT DU PLESSIS.

II

UNE HYPOTHÈSE SCIENTIFIQUE SUR LE PROBLÈME DES BAGUETTISANTS

Nous avons dit ici-même (1) la difficulté centrale du problème des baguettisants ; cette nécessité où nous sommes encore d'analyser des influences physiques au moyen des réactions d'un instrument humain, introduisant à sa suite des perturbations d'ordre physiologique et psychologique. Un grand pas serait fait le jour où un enregistreur inanimé pourrait être conçu et réalisé : il serait la mise en œuvre d'une hypothèse scientifique sur les causes physiques des phénomènes ; l'hypothèse elle-même naîtra d'expériences où l'on se sera efforcé de dissocier, dans les recherches actuellement en notre pouvoir, l'élément purement physique des éléments d'ordre organique.

Le travail se poursuit de différents côtés, en France, en Autriche, en Allemagne. Longtemps des préjugés, s'autorisant

(1) Voir REVUE DES QUEST. SCIENT., janvier 1922, pp. 185-191.

du nom de Chevreul, ont mis obstacle à la prise en considération de ces efforts, isolé les chercheurs, gêné la mise en commun des résultats acquis. Il semble que cet ostracisme commence enfin à disparaître. Déjà la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1) a signalé l'apparition de livres français où des praticiens de la baguette ont tenté de cataloguer leurs impressions, de classifier les influences perçues, de décrire les critères spécifiques des réactions organiques produites par les différents corps. On peut essayer dès maintenant d'aller plus loin. L'ensemble de la question est clairement exposé dans le chapitre que M. Charles Richet vient de consacrer à la baguette divinatoire au cours de son important Traité de Métapsychique.

Une publication allemande récemment parue fournit une contribution fort suggestive aux recherches. Nous devons remercier ici l'éminent membre de l'Institut, M. Georges Lemoine, d'avoir bien voulu la signaler à notre attention. L'analyse abrégée que nous en donnerons aidera peut-être quelque physicien à entreprendre les vérifications qui s'imposent.

Les expériences, faites au deuxième Institut Physique de Vienne à partir de novembre 1919, ont été publiées dans le numéro du 23 décembre 1921 de la revue berlinoise DIE NATURWISSENSCHAFTEN, par MM. Ed. Haschek, de Vienne, et Karl F. Herzfeld, de Munich, sous ce titre : *Contribution à l'explication physique de la baguette divinatoire.*

On prend soin de nous avertir que le baguettisant fort expert, mais désintéressé, M. le conseiller Dr Waagen, géologue-chef de l'Institut Géologique de Vienne, est un savant très habitué à la critique scientifique en matière de géologie ; mais, s'avouant profane en physique, il n'apporte pas d'idées préconçues dans ce domaine.

L'étude ne portant pas sur l'aspect physiologique du problème, résumons, pour n'y plus revenir, ce qui a trait aux impressions sensibles de l'opérateur. M.W. ne peut les décrire avec précision ; il les localise principalement dans les avant-bras, et les caractérise comme une excitation ou tension nerveuse, perceptible surtout quand les avant-bras tenant la

(1) Voir avril 1922, pp. 458-461.

baguette sont à angle droit avec le corps, et que leurs muscles sont ainsi plus contractés.

La sensibilité diminue lorsque la concentration de l'attention est gênée par une cause quelconque. Cette concentration de l'attention semble jouer un rôle très important. Mais — cette remarque nous est personnelle — elle suffit par elle-même à expliquer le discernement d'influences symptomatiques recherchées au milieu de mouvements complexes, sans qu'il soit besoin de recourir, comme le fait dans son livre M. Padey, à un fluide intentionnel bien dangereux pour l'objectivité des résultats.

M. W. constate que sa sensibilité de baguettisant peut disparaître momentanément par suite de surexcitation nerveuse provenant des dispositions de l'organisme, ou de phénomènes atmosphériques, en particulier quand souffle le fôhn ; par contre, elle est favorisée par une légère excitation comme celle que provoque l'alcool absorbé en petite quantité.

Pour M. W. la baguette n'est que l'aiguille indicatrice de l'instrument. Chaque sourcier détermine donc la matière, la forme, les dimensions de la baguette qui lui convient le mieux. Celle dont fait usage le Dr W. est un fil de fer en spirale du modèle employé dans les rhéostats, fil de $0^{m}001$ d'épaisseur, spires de $0^{m}015$ de diamètre, longueur totale $0^{m}50$ environ. Il la tient des deux mains, mais sans renverser les paumes vers le ciel, et lui donne la forme d'un U retourné. D'autres baguettisants allemands utilisent des fils métalliques d'un diamètre de 0,004 repliés en boucle.

M. W., comme d'ailleurs beaucoup de baguettisants, enregistre ce qu'il appelle des « secousses spécifiques » suivant la substance qui l'influence ; c'est ainsi qu'il identifie la matière de l'objet agissant d'après le sens des rotations de sa baguette et l'intensité des secousses.

MM. Haschek et Herzfeld, bornant là leurs remarques sur les facteurs physiologiques, ont sagement réduit leur programme à reconnaître quels objets extérieurs peuvent produire ces mouvements.

Ils ont opéré en laboratoire, car là seulement on peut assurer l'uniformité des conditions extérieures, au prix, il est vrai, d'une fatigue plus grande de l'opérateur. Le terrain d'expé-

rience (rez-de-chaussée de l'Institut de Physique de Vienne), fut préalablement exploré à la baguette. Le Dr W. y localisa deux zones d'influence rhabdique correspondant à un ventilateur électrique et à son rhéostat, installés dans des caves sous-jacentes et dont la situation, vérifiée par la suite, était inconnue des expérimentateurs. Les essais furent donc limités à la partie du laboratoire libre de toute influence perturbatrice.

On s'attacha à éviter toute suggestion inconsciente de la part de personnes au courant des recherches tentées. Dans ce but, M. W. quittait la salle avant la préparation de l'expérience, et n'y rentrait qu'à un signal convenu, tandis que le préparateur sortait à son tour. De la sorte, ni le sourcier, ni son contrôleur ne savaient ce qui avait été disposé, et aucune communication n'était possible entre eux et le préparateur.

Les études portèrent sur quelques litres d'eau et sur des fragments métalliques de 100 centimètres carrés ou davantage, cachés sous du papier ou sous des boîtes en carton.

La première question envisagée fut celle-ci : par quelle influence peut-on discerner les corps cachés ?

Il fallait que l'explication adoptée fût assez générale pour répondre non seulement aux expériences de M. W., mais aux essais du même genre faits par d'autres ; on contrôlera en particulier que les indications de la baguette dépendent de la masse et de la distance des substances agissantes ; par exemple, que de l'eau en grande quantité est encore perceptible à une profondeur de 250 mètres.

La verticale au-dessus du corps caché joue un grand rôle, car c'est surtout sur cette verticale que se meut la baguette.

On vérifia d'abord s'il était possible que des émanations gazéiformes fussent émises par l'objet. L'hypothèse est à rejeter, car de l'eau enclose dans un récipient de verre fermé par soudure du verre continuait à agir.

MM. H. et H. éliminèrent ensuite les différences de température, après avoir constaté que l'eau froide et l'eau chaude agissaient de façon identique.

Quant à l'action d'une variation de l'humidité, ou d'ondes élastiques quelconques émises par le sourcier et réfléchies par l'objet étudié, elle semble inadmissible dans les essais au laboratoire.

Enfin les descriptions qui vont suivre font considérer comme impossible l'idée d'une émanation quelconque agissant comme cause directe.

M. W. ayant fait observer que les courants électriques agissent sur sa baguette, on constate en effet sur une canalisation d'éclairage que l'approche des courants produit une réaction ; courant continu ou alternatif (110 v. - 0.2 a.) agissent de la même manière.

On voulut discerner si c'était un champ magnétique ou un champ électrique qui se montrait opérant. Deux aimants droits furent cachés sous le papier, une première fois bout à bout, de façon que les pôles se renforcent, une deuxième fois côte à côte, pôles du même nom juxtaposés. Dans l'un et l'autre cas l'effet fut identique à celui que produit le fer non aimanté. Contre-vérification du même fait : le double champ est produit à l'aide d'un solénoïde ; la baguette réagit au passage du courant ; son mouvement cesse aussitôt que le solénoïde est enfermé dans une enceinte de fils métalliques formant écran pour le champ électrique, tout en laissant passer le seul champ magnétique. Ainsi s'éliminait à son tour l'hypothèse du champ magnétique.

Restait à étudier le champ électrostatique.

M. W. vint expérimenter avec sa baguette sur un bâton d'ébonite. L'effet fut intense quand le bâton était électrisé par frottement, considérablement affaibli après qu'on eut partiellement déchargé l'ébonite en la passant à la flamme Bunsen, complètement nul lorsque le bâton eut été fortement passé à la flamme.

Forts de ces constatations, les observateurs en déduisent l'hypothèse que voici. Pour une masse enfouie dans la terre on ne saurait faire état d'un champ électrostatique, certainement absorbé. Par contre, la terre est continuellement parcourue par ces courants électriques que nous appelons courants telluriques, et dont nous ne connaissons guère la cause ni les lois. Les lignes du courant se resserreront dans les corps bons conducteurs contenus dans le sol, tandis que les mauvais conducteurs les contiendront en moindre densité. Cette différence dans le parcours des lignes de courant, due aux différences de résistance dans le sol dont nous venons de parler, se traduira aussi par des chutes de potentiel

variables, c'est-à-dire par une certaine distribution du champ électrique

Pour une terre supposée homogène et parcourue par un courant uniforme, la résistance serait partout la même, la chute de potentiel partout régulière. Les surfaces équipotentielles seraient alors verticales et équidistantes, les lignes de force électriques dirigées parallèlement au sol avec une intensité uniforme.

Si nous venons à mettre dans la terre un corps hétérogène, la résistance en ce point sera changée ; si la conductibilité est plus grande, la chute de potentiel sera moindre, et les surfaces équipotentielles divergeront ; si la conductibilité est plus faible, la chute de potentiel augmentera, lignes de force et surfaces équipotentielles se rapprocheront.

Il existe un seul cas où le champ électrique ne sera pas influencé : à savoir, si le corps hétérogène, par exemple un filon métallique, une conduite d'eau, se trouve être parallèle au courant terrestre ; car alors l'intensité du courant augmente en ce point jusqu'à ce que la chute de potentiel devienne égale à l'intérieur et à l'extérieur. C'est donc seulement quand les lignes de courant suivent une direction oblique par rapport au corps hétérogène qu'une variation se manifeste dans le champ électrique.

Par là nous sommes amenés à supposer que le baguettisant enregistre les déformations du champ électrique. Comment se produit cette influence, et sur quelle partie de l'organisme, nous n'en savons rien. On a dit plus haut que M. W. éprouve une tension nerveuse surtout dans les muscles contractés de l'avant-bras. En tout cas les effets constatables sont très petits, et ceci explique peut-être que certaines personnes seulement les perçoivent.

Par quel instrument remplacer le baguettisant ? Dans l'état actuel de la science nous n'en connaissons aucun qui soit assez sensible pour réagir à ces très petites variations du champ.

Voilà l'hypothèse. On peut considérer comme acquis que des masses de conductibilité différente influencent le champ électrique, et cela d'autant plus fortement que ces masses sont plus grandes ; l'action dépendant en outre de la profondeur.

Voyons maintenant si les conséquences de cette hypothèse s'accordent avec l'expérience.

Quand il s'agit d'objets enterrés, traversés par conséquent par le courant terrestre, MM. H. et H. constatent que les réactions ordinaires de la baguette s'expliquent sans difficulté et sans qu'il soit besoin de recourir à autre chose qu'à l'hypothèse émise. C'est ainsi qu'une nappe d'eau souterraine immobile restera sans action sur la baguette ; par contre, toutes les zones renfermant de l'eau en mouvement seront indiquées par l'instrument, les variations du champ provenant soit de la concentration ou de la dispersion des lignes de courant dans l'eau, soit de l'épaisseur variable de la veine liquide à travers différents lits de gravier.

On explique aussi aisément pourquoi il arrive que le sourcier ne peut suivre certaines conduites d'eau ou filons métallifères que dans des parties fragmentaires de leur parcours ; sa prospection indique des interruptions apparentes qui n'existent pas en réalité. C'est que, aux points d'interruption, le courant terrestre est exactement parallèle à la conduite d'eau ou au filon considéré. On peut signaler un cas encore où la baguette sera inefficace : celui où la conductibilité de la masse principale de la croûte terrestre serait précisément égale à celle des objets qui y sont inclus. De même qu'alors la baguette ne révélera pas la présence d'objets réellement existants, on pourrait imaginer des circonstances où, inversement, elle enregistrerait des variations alors qu'aucun objet hétérogène n'est en place. Le diagnostic de la baguette ne sera donc accepté qu'après vérifition par un sondage.

Mais comment faire rentrer dans la loi générale les résultats obtenus par le Dr W. dans les expériences relatées plus haut ? Les masses examinées n'étaient certainement pas traversées par un courant terrestre. Si l'hypothèse émise présente toute vraisemblance pour le cas d'objets enfouis dans le sol, comment l'appliquer aux recherches en chambre ?

Les observateurs s'attachent à résoudre cette objection comme suit. Ce n'est en réalité ni le courant terrestre ni ses variations que les baguettes ont enregistrés directement, mais bien les déformations du champ électrique dans lequel il est plongé. Or de pareilles déformations du champ sont provo-

quées par tous les corps isolés qu'il renferme. Tandis que des couches importantes incluses dans la terre ont une influence appréciable, bien des expériences en chambre échouent au contraire parce que les déformations du champ sont trop faibles pour être perçues.

Une double contre-expérience en laboratoire pour éclairer ceci.

D'abord, différentes masses métalliques sont cachées sous carton et recouvertes d'une boîte plus grande revêtue elle-même d'une cage de Faraday ; celle-ci, reliée à la terre, fait absolument écran. Toute réaction de la baguette disparaît aussitôt. Les masses métalliques, cuivre, fer, etc..., qui, simplement posées sur la terre, provoquaient de fortes réactions de la baguette, deviennent aussitôt sans action quand on les relie par fil à une conduite d'eau.

En second lieu, de la paraffine passée à la flamme se montre inactive, mais provoque aussitôt une forte secousse quand elle est électrisée par frottement, ses lignes de force modifiant alors le champ ambiant.

Il est donc clair que toute variation dans le champ électrique doit avoir sa répercussion. Les expériences qu'avant de concevoir l'hypothèse énoncée MM. H. et H. avaient tentées sur les corps ionisés, donnent des résultats qui s'accordent avec l'hypothèse.

C'est ainsi qu'une flamme de gaz agit fortement sur la baguette ; de même l'air chargé d'électricité par un rejaillissement d'eau goutte par goutte ; de même l'air ionisé par la mise en terre d'un exsiccateur radioactif ; enfin la réaction la plus violente, allant jusqu'à un véritable malaise, se produisit dans l'air chargé d'émanation de radium. On faisait pour cela passer un courant d'air dans de l'eau saturée d'émanation. Or, tandis que dans les autres cas déjà énumérés l'action cessait dès que l'on supprimait la source d'ionisation, ici elle persista, car l'émanation s'attachait à la peau, et ne disparaissait que par lavage des mains à l'eau.

Donc, à l'air libre, toute augmentation d'ions pour quelque cause que ce soit, agit sur la baguette. D'où l'influence du brouillard, du fohn, du temps orageux. On pourrait rattacher à ceci les observations faites par le Dr Ambronn sur la coexistence constatée de projection d'éléments radioactifs et des secousses de la baguette au-dessus des failles.

Au-dessus du champ qui provient du courant terrestre se trouve à l'air libre le champ résultant de la charge électrostatique ordinaire. Ce dernier est beaucoup plus intense que le premier, et si tout dépendait de l'intensité du champ, il couvrirait tout. Mais ce champ est constant, au moins sur un petit espace. Les éminences de terrain, les maisons qui déforment ce champ n'entrent pas en ligne de compte pour la raison psychologique simple que le sourcier les voit.

Même sous l'influence si grande des nuages la chute de potentiel de l'air varie d'ordinaire lentement dans l'espace, si bien que la variation rapide provenant du passage sur un terrain surmontant des substances actives l'emportera, malgré la petitesse des valeurs absolues. D'ailleurs il est de fait que la sensibilité du baguettisant diminue dans une atmosphère électriquement instable (fœhn, temps d'orage).

Le Dr W. remarque encore que dans ses prospections en plein air il éprouve parfois des « secousses non spécifiques », qu'il ne retrouve pas en refaisant plusieurs fois le même parcours, et qu'on est en droit d'attribuer à des actions électriques de l'air.

Les auteurs, pour être complets, signalent deux sortes de causes perturbatrices observées. L'une provient de la trop grande sensibilité du baguettisant aux plus minimes quantités d'électricité produites par frottement. D'où nécessité de précautions minutieuses dans la manipulation même de simples boîtes en carton. L'autre, qu'il ne faut pas perdre de vue, est due au fait que l'instrument des recherches est non un objet inanimé, mais un homme, aisément troublé par des influences subjectives. Ne seront donc scientifiquement recevables que les essais dans lesquels le sourcier n'est pas au préalable informé de la nature de l'objet agissant sur son organisme. Toutes les épreuves pourront par ailleurs échouer si le baguettisant n'est pas dans une disposition physiologique favorable, ou si l'appréhension le paralyse.

En terminant leur exposé, MM. H. et H. écrivent modestement : « Nous savons bien qu'il faudrait beaucoup plus de recherches et d'essais où l'on éviterait autant que possible les chances d'insuccès, pour obtenir des preuves parfaitement convaincantes. Nous-mêmes sommes persuadés de l'objectivité de ces manifestations, surtout parce que nous avons

été amenés à une explication très éloignée de nos hypothèses premières. »

On pourrait épiloguer sur ces résultats, noter par exemple que, dans l'hypothèse envisagée, des solutions brusques de continuité, des fractures de l'écorce terrestre, des cavernes sèches, voire simplement une terre fraîchement remuée modifient notablement la conductibilité, et doivent suffire à provoquer les tressaillements de la baguette. Ainsi se justifieraient les affirmations des baguettisants de 1913, qualifiées en leur temps de paradoxales, que leur instrument peut déceler des cavités vides dans le sol. On se rappelle à ce propos les belles explorations de grottes souterraines, par M. A. Viré, contrôlées par l'éminent spéléologue M. Martel.

Pour ne pas abuser de la patience de nos lecteurs, nous n'ajouterons qu'un mot : si nous sommes bien informé, les conclusions précédentes seraient, dans leur ensemble, d'accord avec les expériences inédites faites devant la Commission de l'Académie des Sciences en 1921.

Le Dr W. ne semble pas avoir connu les observations faites sur les métaux par M. Paul Lemoine à l'Institut catholique de Toulouse, ni les remarques de baguettisants français (H. Mager, B Padey) sur la force rhabdique issue de radiations lumineuses colorées dont les longueurs d'onde diffèrent. Il y aurait encore là matière à examen.

L'intérêt du problème n'est certes pas épuisé ; puissent les recherches continuer avec toute la rigueur de méthode que comporte la matière.

Ch. Poisson.

REVUE
DES RECUEILS PÉRIODIQUES

BIOLOGIE

LES MITOCHONDRIES CHEZ LES VÉGÉTAUX

Aperçu historique de la question. Son état actuel. En cytologie animale, on donne d'ordinaire le nom de « mitochondries » ou « chondriosomes », à certains éléments figurés de la cellule disséminés dans le cytoplasme et pouvant se présenter sous des formes variées : soit sous forme de bâtonnets plus ou moins allongés, plus ou moins flexueux, appelés « chondriocontes » ; soit sous forme de grains disposés en chapelets et nommés « chondriomites » ; soit sous forme de grains isolés, ce sont les « mitochondries granuleuses ». L'ensemble des mitochondries d'une même cellule, quelle que soit leur forme, prend le nom de « chondriome ».

C'est Altmann, semble-t-il, qui le premier en 1886 mit en évidence dans la cellule animale ces petits organites auxquels il donna le nom de « bioblastes » ; dix ans plus tard, Benda les appelait mitochondries. Depuis Altmann, de nombreux et importants travaux ont été entrepris pour déterminer l'origine, la nature et la fonction de ces organites dans le règne animal, mais pendant longtemps, nul n'avait songé à faire une étude méthodique des mitochondries chez les végétaux, et ce n'est guère que depuis 1911, sous l'impulsion principale de M. le professeur Guilliermond, que des recherches suivies furent entreprises sur ce sujet dans le règne végétal.

Faisant abstraction dans cet article de toute opinion personnelle, notre but sera de donner une vue d'ensemble des travaux accomplis jusqu'à ce jour et de déterminer quel est, à l'heure actuelle, l'état de la question.

I. — Existence des mitochondries dans la cellule végétale.

Dès 1904, Meves avait constaté, chez les Nymphéacées, des mitochondries dans les cellules nourricières des grains de pollen, et les années suivantes on en avait également signalé dans quelques autres familles d'Angiospermes. L'étude des mitochondries dans la cellule végétale se bornait à ces rares constatations, lorsqu'en 1911 Guilliermond commença ses recherches. C'est en appliquant aux végétaux les techniques mitochondriales en usage dans l'histologie animale, qu'il fit ses premières observations. Les méthodes par lui employées furent surtout les méthodes de Benda et de Regaud, caractérisées, on le sait, par l'emploi du Bichromate de potasse ou de l'acide chromique comme fixateur (1).

(1) *Méthode de Benda. a*) Fixation.

8 jours dans le mélange : acide chromique à 1 % 16 cm³.
peroxyde d'osmium à 2 % 4 cm³.
24 heures dans le mélange : acide chromique à 1 % 1 vol.
acide pyroligneux 1 vol.
24 heures dans une solution de bichromate de potasse à 2 %.
b) Coloration.
Par le sulfalizarinate de soude pour le cytoplasme et le noyau.
Par le kristallviolet en solution chlorelcoolique pour les mitochondries.

Méthode de Regaud. a) Fixation.

4 jours dans le mélange : Bichromate de potasse à 3 % 80 vol.
Formol commercial 20 vol.
8 jours ou plus dans une solution de bichromate de potasse à 3 %.
b) Coloration.
Par l'hématoxyline de Heidenhain.
Pour plus de détails sur les méthodes mitochondriales, voir :

Archives d'anatomie microscopique, 1910. *Sur la microchimie*

Le 17 juillet 1911, il fit part à l'Académie des Sciences de Paris des premiers résultats de ses travaux : ses recherches avaient porté sur des champignons et sur des graines d'Angiospermes en germination. Les champignons se montrèrent tout d'abord peu favorables à ce genre d'études. Guilliermond, à cette époque, ne put en effet observer les mitochondries que chez un seul Ascomycète : « *Pustularia vesiculosa* ». « Les mitochondries, dit-il, apparaissent à l'extrémité des filaments ascogènes, autour des 4 noyaux qui occupent les crosses, aux dépens desquels se constituent les asques ; elles se montrent sous forme de filaments très enchevêtrés les uns dans les autres et forment sur un côté du noyau une masse confuse. Dans les asques, au début de leur naissance, elles se localisent sur tout le pourtour du noyau et présentent l'aspect de filaments rectilignes plus ou moins flexueux, c'est-à-dire de chondriocon es. Au fur et à mesure que l'asque augmente de volume, on en voit apparaître également dans la région apicale de la cellule » (1).

Les graines d'Angiospermes, par contre, se montrèrent de suite un matériel de choix. Dès le début de la germination de graines variées : Ricin, Orge, Blé, Maïs, Haricot, etc. Guilliermond put voir non seulement dans les tissus de l'embryon, mais encore dans l'albumen, lorsque celui-ci est représenté, de nombreuses mitochondries soit sous forme de bâtonnets, soit sous forme de granules. Ces mitochondries, qui, dans la graine à l'état de vie ralentie, n'ont pu être décelées que dans le Ricin, apparaissent nettement au bout de quelques heures de germination et puis disparaissent soit au moment de la régression des cotylédons, soit au moment de la différenciation des tissus de l'embryon. Dès cette époque, Guilliermond

des corps gras ; application à l'étude des mitochondries. Fauré-Frémiet, Mayer et Schaeffer.

Archives d'anatomie microscopique, 1912. *Recherches cytologiques sur le mode de formation de l'amidon et sur les plastes des végétaux*. A. Guilliermond.

Revue générale de Botanique, 1919. *Observations vitales sur le chondriome des végétaux et recherches sur l'origine des chromoplastides et le mode de formation des pigments xanthophylliens et carotiniens*. A. Guilliermond.

(1). C. R. Académie des Sciences, 17 juillet 1911.

affirme sa conviction qu'il se trouve en présence de véritables mitochondries végétales ; « elles présentent nettement, dit-il, les caractères histo-chimiques des mitochondries des cellules animales, et il ne saurait exister aucun doute sur leur nature ». *(Ibid.)*

Quelques mois plus tard, le même auteur observe des mitochondries dans les cellules du parenchyme cortical et de la moelle des tubercules très jeunes de pomme de terre. Elles étaient disséminées dans le cytoplasme creusé de grosses vacuoles et se présentaient sous forme de petits grains sphériques.

En janvier 1912, il en signale dans la racine du « *Phajus grandifolius* », sous forme de chondriocontes qui, dans le méristème terminal, étaient répartis dans tout le cytoplasme, mais qui, dans les cellules un peu plus différenciées, étaient exclusivement localisés autour du noyau, en intime contact avec sa membrane.

En mars, il en trouve dans les bourgeons de plantes adultes: Rosier, Bégonia, Laurier-Cerise, Camélia, etc... affectant la forme de chondriocontes flexueux, plus ou moins allongés.

Un peu plus tard, il en signale dans le sac embryonnaire des ovules de *Lilium candidum* : « Ici, dit-il, le chondriome est constitué : 1° par de nombreuses mitochondries enchevêtrées les unes dans les autres et constituant tout autour des noyaux en voie de mitose une zone épaisse et confuse ; 2° par des mitochondries beaucoup plus espacées et dispersées dans tout le cytoplasme de la cellule. Ces éléments, aussi bien ceux de la zone périnucléaire que ceux qui sont disséminés dans le reste du cytoplasme, se présentent sous forme de chondriocontes, de mitochondries granuleuses et surtout de chondriocontes plus ou moins allongés, mais le plus souvent courts » (1).

Enfin, il en trouve également dans les grains de pollen de différentes plantes : Courge, Erythine, etc., confirmant par là les observations faites précédemment par Meves, Lewitsky, Bonnet, etc.

Ainsi donc, dès la fin de l'année 1912, grâce à l'usage des réactifs mitochondriaux, on avait pu mettre en évidence le chondriome dans les principaux organes (racine, bourgeon,

(1) Société de Biologie, 14 juin 1913.

embryon, ovule, anthère) de nombreuses familles de Phanérogames. Mais une question se pose ici : ces mitochondries, qu'on ne peut mettre en évidence qu'à l'aide de réactifs tels que le bichromate ou l'acide osmique, sont-elles bien préexistantes à l'action de ces réactifs ou ne seraient-elles pas au contraire, comme le prétendent alors Lundgard et Meyer, des produits d'altération du cytoplasme provoqués par les fixateurs eux-mêmes ? L'objection, on le voit, vise à contester la réalité même des mitochondries.

La meilleure réponse à faire à cette question, était de chercher à voir le chondriome, *in vivo*. En juin 1913, Guilliermond eut la bonne fortune, en étudiant des cellules vivantes d'*Iris germanica*, sans même les soumettre aux colorants vitaux, mais en les plaçant simplement sur lame dans une goutte de solution isotonique de sel marin, de voir un chondriome très net et très bien fourni. « Si l'on examine, dit-il, une cellule très jeune de l'épiderme d'un pétale, on observe le noyau avec son nucléole et un chondriome formé par un grand nombre de chondriocontes flexueux, parfois ramifiés et par quelques mitochondries granuleuses. Ces éléments sont répartis dans tout le cytoplasme de la cellule et sont souvent plus nombreux au voisinage du noyau » (1).

Ce ne fut pas là, du reste, une observation isolée, car quelques mois plus tard, Guilliermond put encore voir *in vivo* dans les dents de jeunes feuilles de rosier, de nombreux chondriocontes minces, allongés, flexueux, disposés tout autour du noyau et se distinguant du cytoplasme fondamental par une réfringence légèrement plus forte. Depuis lors, Guilliermond a multiplié ses observations vitales du chondrioconte et il est arrivé à constater dans un grand nombre d'espèces végétales, sans l'emploi d'aucun réactif, toutes les formes du système mitochondrial : chondriocontes allongés et onduleux, bâtonnets courts et trapus, mitochondries granuleuses. Les fleurs d'Iris et de Tulipe se montrèrent tout particulièrement favorables pour cette observation vitale (2).

2. Chez les Cryptogames vasculaires, la présence d'un chon-

(1) C. R. Académie des Sciences, 1 avril 1912.

(2) C. R. Académie des Sciences, 5 mars 1917 et Revue générale de Botanique, 1919, p. 372.

driome se présentant surtout sous forme de grains et de courts bâtonnets, fut signalée pour la première fois par MM. Pensa et Mottier. Plus récemment, M. Emberger a constaté dans la cellule apicale de la racine d'*Atyrium filix femina* de nombreuses mitochondries granuleuses et quelques rares chondriocontes. Dans les cellules du cylindre central, les chondriocontes augmentaient considérablement en nombre et venaient se tasser en paquet confus autour du noyau. (C. R. Ac. des Sciences, 2 février 1920). Dans les cellules du sporange de *Scolopendrium vulgare*, comme dans celles du méristème de la tige de *Selaginella*, il a pu également observer toutes les formes du chondriome (C. R. Ac. des Sciences, 23 févr et 26 juillet 1920).

Cellules épidermiques des pétales de Tulipa suaveolens.
Fixation par la méthode de Benda
et coloration par l'hématoxyline, chondriome formé par des mitochondries granuleuses, de courts bâtonnets et des chondriocontes.
go = globules oléagineux. D'après Guilliermond.

3. Les champignons, nous l'avons vu, s'étaient tout d'abord montrés peu favorables aux études mitochondriales, puisqu'en 1911 un seul Ascomycète, *Pustularia vesiculosa*, avait laissé voir un chondriome. Que penser de cette singularité ? A priori, on pouvait dire qu'il était peu vraisemblable que, dans le grand groupe des champignons, le genre *Pustu-*

laria seul possédât des mitochondries ; par conséquent, deux hypothèses restaient en présence : ou bien le genre *Pustularia* en fait ne possédait pas de chondriome et Guilliermond avait été victime d'une illusion ; ou bien les autres genres et familles de champignons en possédaient et il fallait le déceler.

Dès 1913, Guilliermond revient à l'étude des champignons ; il reprend encore le genre *Pustularia*, et de nouveau retrouve le chondriome. Cette fois, il arrive même à le mettre en évidence dans un genre voisin, à savoir *Peziza*, et le décrit avec soin. Cette étude du chondriome de *Pustularia vesiculosa* fit l'objet de trois notes adressées soit à l'Académie des Sciences de Paris, soit à la Société de Biologie durant l'année 1913. L'auteur y décrit en détail l'évolution du chondriome depuis la formation des asques jusqu'à l'apparition des spores. Nous aurons plus tard à revenir sur ces descriptions lorsque nous parlerons du rôle physiologique des mitochondries; nous ne nous y arrêterons donc pas davantage pour l'instant. Chose curieuse, à la même époque, MM. Janssens, Van de Putte et Helsmontel, ignorant les travaux de Guilliermond, faisaient les mêmes constatations sur le même champignon et publiaient leurs observations dans la CELLULE du 15 avril 1913. Un fait était acquis désormais, c'était la présence certaine d'un chondriome chez *Pustularia* et *Peziza*. Ce point établi, il devenait très probable que les mitochondries devaient également se trouver chez les autres champignons ; restait à le montrer.

Après différents essais infructueux sur les Basidiomycètes et les Mucorinées, Guilliermond eut enfin la chance de voir ses efforts couronnés de succès. Le 9 juin 1913, il put annoncer à l'Académie des Sciences que la présence du chondriome lui paraissait générale chez les champignons. Il venait en effet d'observer de nombreuses mitochondries dans les organes de fructification de plusieurs Autobasidiomycètes ainsi que dans les cellules parenchymateuses du chapeau ; dans certains Ascomycètes tels que *Penicillium glaucum*, *Botrytis cinerea* et dans plusieurs levures du genre *Saccharomyces*. Sa conclusion était celle-ci : « La présence des mitochondries dans les champignons, où jusqu'ici on n'avait pas pu les mettre en évidence, apporte donc un appui de plus à la théorie qui

considère le chondriome comme un élément constant et indispensable de la cellule au même titre que le noyau » (1).

Dans la suite, les recherches faites par MM. Beauverie et Moreau mirent encore en évidence la présence des mitochondries chez d'autres groupes de champignons.

En février 1914, Beauverie décrit le chondriome d'une Urédinée : *Puccinia malvacearum*. « Dans le stroma sous-hyménial, dit-il, et dans les éléments intercellulaires de ce stroma, on aperçoit aisément des chondriomes de tailles diverses, mais parmi lesquels dominent des mitochondries très petites et des chondriocontes assez rares et toujours trapus ; ceux-ci deviennent plus abondants dans les éléments plus allongés avoisinant immédiatement l'hyménium » (2).

Un mois plus tard, Mme Moreau confirmait les observations faites par Beauverie : « non seulement elle avait trouvé des mitochondries chez *Puccinia malvacearum*, mais encore dans la forme téleutosporifère de *Phragmidium subcorticium* et dans la forme écidienne du *Coleosporium senecionis* » (3).

A la même époque Beauverie trouvait chez un Hyménomycète : *Psalliota campestris*, un chondriome formé particulièrement de longs chondriocontes flexueux (4).

Enfin, Moreau, vers la fin de l'année 1914, signale chez une Ustilaginée : *Entyloma ranunculi* et chez les Mucorinées : *Sporodinia grandis*, *Rhizopus nigricans*, un chondriome pauvre représenté par de rares mitochondries et de plus nombreux chondriocontes (5).

4. Concurremment aux recherches faites chez les champignons les mêmes recherches étaient entreprises chez les algues. Le premier travail paru sur ce sujet fut une note de Guilliermond tendant à rapprocher le chromatophore de certaines algues (Conjuguées) du chondriome des végétaux supérieurs. L'auteur constate tout d'abord que les chromatophores des algues ont certains caractères communs avec les chloroplastes ; comme eux, ils se colorent électivement et de la même manière que les mitochondries par les méthodes de Regaud, de Benda,

(1) C. R. Académie des Sciences, 9 juin 1913.
(2) Société de Biologie, 17 février 1914.
(3) Société de Biologie, 14 mars 1914.
(4) C. R. Académie des Sciences, 16 mars 1914
(5) Société de Biologie, 28 novembre 1914.

d'Altmann, de Sjowall ; comme eux aussi, ils s'écartent de la substance mitochondriale par leur beaucoup plus grande résistance vis-à-vis des agents ordinaires de fixation qui altèrent les mitochondries. A ne regarder donc que le point de vue histo-chimique, les chromatophores se rapprochent plus des chloroplastes que des mitochondries. Mais à côté de cela, les chromatophores se distinguent nettement des chloroplastes par leur permanence, leur grand développement et leur structure complexe. Sous certains rapports, par contre, ils se rapprochent beaucoup de la substance mitochondriale ; comme elle, en effet, ils sont un organe permanent, qui se divise au moment de la division cellulaire et qui se transmet de cellule à cellule. Et Guilliermond conclut : « Il semble donc permis de penser que le chromatophore des algues serait l'homologue du chondriome. Mais tandis que, dans la majorité des cellules, le chondriome serait représenté par un grand nombre d'éléments mitochondriaux, ici il serait condensé en un organe particulier » (1).

Ce rapprochement entre le chromatophore des algues et le chondriome s'appuie, on le voit, sur certains caractères des mitochondries qui sont aujourd'hui encore contestés ; aussi ne suffirait-il peut-être pas à prouver par lui seul que le chondriome se rencontre dans les algues aussi bien que chez les végétaux supérieurs. Mais quelle que soit la valeur de ce rapprochement, M. et Mme Moreau trouvèrent chez les *Vaucheria*, à côté des chloroplastes, un véritable chondriome (2). Et tout récemment, M. Mangenot, qui semble s'être attaché à l'étude spéciale du chondriome chez les algues, signalait dans plusieurs notes à l'Académie des Sciences de Paris (5 et 19 janv., 14 et 28 juin 1920) : 1° la présence de mitochondries granuleuses dans la cellule apicale, dans les cellules épidermiques et dans les cellules reproductrices (oogones et anthéridies) du *Fucus vesiculosus* et du *Fucus platycarpus* ; 2° la présence de mitochondries granuleuses et de courts bâtonnets mitochondriaux dans les filaments de Vaucheria et chez les Lémanéacées (3).

(1) Société de Biologie, 19 juillet 1913.

(2) Société de Biologie, 18 décembre 1915.

(3) Dernièrement (Société de Biologie, 4 juillet 1921), Guilliermond signalait la présence de longs chondriocontes chez les Diato-

De cet ensemble d'observations faites par Guilliermond, Beauverie, Moreau, Emberger, Mangenot, etc., il résulterait donc que le chondriome universellement répandu chez les végétaux, serait constitué par des organites, disséminés dans le cytoplasme, pouvant sans doute affecter des formes variées : granules, bâtonnets courts et trapus, filaments flexueux et ramifiés, mais cependant toujours individualisés. Nous verrons plus loin, comment cette notion première du chondriome s'est précisée dans la suite.

II — Origine des mitochondries

En connexion intime avec la question de l'existence des mitochondries se pose le problème de leur origine. On peut, semble-t-il, ramener à trois les solutions données à ce problème, aussi bien du reste en cytologie animale qu'en cytologie végétale.

1. Pour les uns, les mitochondries résulteraient d'une différenciation *de novo* du cytoplasme. Au dire de Vuillemin, ce serait là la position de Lewitsky pour qui les chondriosomes représenteraient la différenciation progressive du cytoplasme embryonnaire marchant au pas avec la différenciation des cellules au cours de l'ontogénie (1).

2. Selon d'autres, par exemple : Romieu, Tischler, Alexeieff, etc., les mitochondries auraient une origine nucléaire. « Certains auteurs, dit Alexeieff, attribuent aux mitochondries l'autonomie qu'ont le noyau et le cytoplasme, et pour affirmer cela, ils se basent principalement sur la propriété qu'ont les mitochondries de se multiplier par division. Contrairement à cette opinion, j'ai pu constater, au moins dans certains cas, l'origine nucléaire des mitochondries ; si, dans la suite, elles se multiplient au sein du cytoplasme, c'est justement parce qu'elles ont gardé cette faculté des substances chromatiques de s'accroître aux dépens des matériaux apportés par le cytoplasme et de se diviser... Sans doute il y a des cas où les mitochondries peuvent être décelées dans le cyto-

mées et d'un véritable chondriome chez les Conjuguées coexistant à côté du chromatophore.

(1) Revue générale des Sciences, 1917, p. 440.

plasme pendant toutes les phases évolutives d'un Protiste, sans qu'il soit possible de constater leur provenance nucléaire (v. g. *Blastocysti luterocola*). Mais, pour moi, même dans ces cas, on doit par analogie admettre l'origine nucléaire de ces mitochondries » (1).

3. Pour d'autres enfin, comme l'indiquait Alexeieff, les mitochondries auraient la même autonomie que le cytoplasme et proviendraient de mitochondries préexistantes. C'est cette dernière origine que Guilliermond et Moreau attribuent aux mitochondries.

D'après Moreau : « Tout chondriome provient d'un chondriosome antérieur » et Guilliermond pense qu'on peut « considérer les mitochondries comme des organites ne naissant jamais *de novo* dans le cytoplasme, mais résultant toujours de la division de mitochondries préexistantes » (2).

Pour soutenir cette opinion, Guilliermond s'appuie sur deux faits d'observation : d'une part la présence des mitochondries dans de nombreux ovules et grains de pollen, d'autre part cette même présence constatée (rarement, il est vrai), dans la graine à l'état de vie ralentie, mais toujours dans la graine au début de la germination. Trouvant donc des mitochondries dans les cellules mêmes qui par leur union donneront l'œuf, et retrouvant ensuite des mitochondries dans l'embryon de la graine, Guilliermond conclut que les mitochondries de la plante-fille proviennent par division des mitochondries de la plante-mère. Moreau, du reste, a pu observer et décrire ces divisions de mitochondries chez les Algues (*Vaucheria*) et chez les Mucorinées (*Rhizopus nigricans*). Cette division, d'après sa description, se ferait par simple bipartition (3).

III. Relations des mitochondries avec les plastes

L'observation de l'évolution des mitochondries dans les cellules végétales amena certains auteurs à affirmer, entre mitochondries et plastes, une relation de cause à effet.

(1) Société de Biologie, 17 janvier 1917.
(2) Archives d'Anatomie microscopique, 1912, p. 382.
(3) Société de Biologie, 20 mars 1915.

1. *Mitochondries et Chloroplastes.*

En 1910, Pensa, cytologiste italien, eut l'idée d'observer chez les plantes l'évolution des mitochondries. Il observa dans ce but les jeunes carpelles de différentes fleurs et put constater tous les stades de transition entre des éléments en forme de bâtonnets ressemblant aux mitochondries et les chloroplastes types, mais il ne crut pas pouvoir alors identifier ces éléments en forme de bâtonnets avec les mitochondries animales.

En 1911, Lewitsky, après avoir observé une jeune tige de plantule d'*Asparagus officinalis*, émit l'opinion que les chloroplastes résulteraient bien d'une différenciation de véritables mitochondries végétales. La même année Guilliermond décrivit tout au long cette transformation. Ses observations avaient porté sur les cellules des futures feuilles de la gemmule d'Orge, traitées suivant la méthode IV de Regaud et peuvent se résumer ainsi : Dans le méristème situé à la base de la jeune feuille, les cellules en division renferment de nombreux chondriocontes qui participent à la division cellulaire et se répartissent dans les deux cellules-filles. Dans la partie moyenne de la feuille, les chondriocontes se groupent autour du noyau en contact intime avec sa paroi et se transforment en bâtonnets courts et trapus. Puis à mesure que l'on remonte vers le sommet de la feuille on constate que les bâtonnets mitochondriaux se renflent soit au centre, soit à une extrémité, soit aux deux, prenant la forme d'haltères, de grains ovoïdes ou de massues. Ces renflements augmentent peu à peu de volume et bientôt les parties filiformes qui les réunissent, disparaissent. Il ne reste plus alors que des grains ovoïdes ou sphériques. Dans la région supérieure de la feuille, les mitochondries ont disparu, mais on trouve à leur place des chloroleucites qui se colorent de la même manière et qui sont situés exactement dans les mêmes régions que les mitochondries, en intime contact avec le noyau. Finalement, dans la région qui occupe l'extrémité de la feuille, les chloroleucites ont acquis une dimension relativement grande et offrent un aspect nettement vésiculeux ou alvéolaire qui semble dû à la présence dans leur intérieur d'un ou plusieurs grains d'amidon incolores. Et l'auteur concluait en ces termes : « Ainsi donc, on observe

toutes les formes de transition d'une part entre les chondriocontes primitifs et les grains ovoïdes, de l'autre entre les grains ovoïdes et les chloroleucites. Cette transformation peut d'ailleurs ne pas s'effectuer simultanément et il n'est pas rare de rencontrer dans une même cellule, à côté des chloroleucites presque formés, une série d'intermédiaires entre les chondriocontes et les chloroleucites. On est donc bien forcé d'admettre que les chloroleucites sont le résultat d'une simple transformation des chondriocontes » (1).

Étendant ensuite ses observations à des embryons de Maïs, de Blé, de Ricin, de Haricot, Guilliermond constata que les chloroleucites résultaient toujours par le même processus ou presque, de la transformation de mitochondries préexistantes.

L'année suivante, c'est sur des tissus vivants, sans aucune préparation, qu'il peut suivre cette évolution. « En examinant au microscope, dit-il, à un très fort grossissement et dans une solution salée, une coupe longitudinale, pratiquée dans une gemmule d'Orge, au début de la germination, on constate à la base des jeunes feuilles, des cellules parenchymateuses à contenu incolore et très granuleux ; dans les cas les plus favorables, ce contenu laisse apercevoir avec une assez grande netteté des filaments légèrement plus réfringents que le cytoplasme ambiant et correspondant aux chondriocontes. Dans la région moyenne, les mêmes cellules montrent très distinctement de nombreux petits bâtonnets mitochondriaux situés au contact des noyaux. Enfin, dans la région supérieure, on peut observer la transformation de ces bâtonnets en véritables chloroleucites avec grains d'amidon. Un fait très curieux est qu'au moment où les mitochondries prennent la forme de bâtonnets courts et trapus, les cellules présentent déjà une teinte jaune verdâtre très légère, qui donne l'impression que le cytoplasme est imprégné de chlorophylle diffuse. En réalité ce n'est qu'une illusion, car un examen attentif montre que cette coloration est localisée autour du noyau, c'est-à-dire dans les bâtonnets mitochondriaux qui déjà à ce moment renferment de la chlorophylle » (2).

(1) C. R. Académie des Sciences, 24 juillet 1911.
(2) Société de Biologie, 20 janvier 1912.

Si maintenant l'on compare les chloroleucites et les mitochondries, on voit qu'ils se ressemblent par certains caractères : les uns et les autres se colorent électivement et de la même manière par les méthodes de Regaud, de Benda, d'Altmann, de Sjowall ; les uns et les autres se divisent et possèdent une fonction élaboratrice. Mais les chloroleucites diffèrent des mitochondries par leur plus grande résistance vis-à-vis des fixateurs à l'alcool et à l'acide acétique. Les chloroleucites, pour Guilliermond, seraient donc des mitochondries « évoluées dans un sens déterminé et infiniment plus différenciées. Ce seraient en quelque sorte des mitochondries d'ordre supérieur et douées d'une fonction spéciales ». *(Ibid.)*

Ces différents travaux n'avaient encore porté que sur de plantules de graines au début de la germination, et l'on pouvait se demander si, dans les plantes adultes, les chloroplastes avaient même origine mitochondriale.

Les travaux de Lewitsky sur les bourgeons d'*Elodea canadensis*, de Forenbacher sur les bourgeons de *Tradescantia virginica*, et de Guilliermond sur de nombreuses plantes (Rosier, Camélia, Bégonia, Laurier-Cerise) vinrent répondre affirmativement à cette question. Les observations de Guilliermond faites sur du matériel soit frais, soit fixé et coloré par la méthode de Regaud, lui montrèrent que dans les plantes adultes, les chloroleucites provenaient de la transformation des mitochondries par un processus en tout point analogue à celui décrit chez les plantules. Les mitochondries, représentées ici par des chondriocontes flexueux, se groupaient autour du noyau, grossissaient, prenaient la forme de massues, de fuseaux ou d'haltères en se colorant en vert, et puis, augmentant de volume, donnaient des chloroplastes types.

2. *Mitochondries et leucoplastes.*

Quelque temps après sa première publication sur l'origine mitochondriale des chloroplastes, Guilliermond fut amené à attribuer la même origine aux leucoplastes. Ses recherches avaient porté sur des tubercules très jeunes de pomme de terre. Il remarqua, dans le cytoplasme des cellules parenchymateuses qui n'avaient pas encore d'amidon, de nombreuses mitochondries granuleuses. A un stade plus avancé,

un certain nombre de ces mitochondries avaient subi un accroissement de volume assez sensible et s'étaient transformées en corps sphériques ou ovoïdes environ 2 ou 3 fois plus gros que les mitochondries primitives. D'abord homogènes, elles montrèrent bientôt en leur centre une partie incolore ou moins chromatique que la périphérie qui leur donnait un aspect vésiculeux. « A ce moment, dit-il, les mitochondries correspondent aux leucoplastes » et « les leucoplastes ne sont autre chose que le produit d'une légère différenciation des mitochondries » (1).

Un mois plus tard, à la suite d'observations faites sur la racine du *Phajus grandifolius*, Guilliermond crut devoir changer quelque peu cette manière de voir. Il avait en effet constaté dans les cellules parenchymateuses voisines du méristème terminal de la racine, de nombreux chondriocontes flexueux, qui peu à peu augmentaient de volume et prenaient la dimension de gros chromosomes. Ces éléments, qui se coloraient électivement et de la même manière que les mitochondries par les méthodes de Benda et de Regaud, ne différaient des chondriocontes que par leur grande dimension. Aussi, négligeant cette différence purement morphologique, Guilliermond considère-t-il ces éléments comme des mitochondries. Et comme, d'autre part, ces éléments sont absolument assimilables aux leucoplastes de Schimper, il dira, non plus que les leucoplastes sont le produit d'une légère différenciation des mitochondries, mais que les leucoplastes sont identiquement les mitochondries.

Il ne resta pas longtemps toutefois sur cette position et, le 6 juillet 1912, il reviendra à sa première affirmation, à savoir : les leucoplastes sont le produit d'une légère différenciation des mitochondries. C'est l'emploi comparé de 2 méthodes cytologiques qui le ramena à sa première position. En effet, l'emploi des méthodes de Benda et de Regaud proprement mitochondriales, mettait en évidence, avec la plus grande netteté, les chondriocontes jeunes et les chondriocontes en voie d'élaborer de l'amidon, ainsi que tous les stades intermédiaires allant de l'un à l'autre. Au contraire, la coloration à l'hématoxyline après fixation au liquide

(1) C. R. Académie des Sciences, 26 décembre 1911.

de Bouin, qui, on le sait, dissout les chondriocontes, ne permettait plus de voir les chondriocontes jeunes, mais décelait encore nettement les chondriocontes en voie d'élaborer de l'amidon. Ainsi donc, il y aurait entre les chondriocontes jeunes et les chondriocontes en voie d'élaborer de l'amidon, une différence chimique puisque les uns sont dissous par le liquide de Bouin, les autres pas. Comme ces derniers correspondent précisément aux leucoplastes, Guillermond conclut, définitivement cette fois, que les leucoplastes diffèrent chimiquement des mitochondries, qu'ils proviennent d'une différenciation de celles-ci.

Mais si tout leucoplaste provient d'une transformation morphologique et chimique de mitochondries, cette évolution ne se fait pas toujours de la même manière. Guilliermond distingue quatre modes de formation des leucoplastes :

a) Ou bien les leucoplastes apparaissent comme de petits renflements produits sur le trajet d'un chondrioconte, par exemple dans la radicule de Haricot, de Maïs, d'Orge.

b) Ou bien les leucoplastes se présentent comme de gros éléments fusiformes résultant d'une différenciation des chondriocontes ; c'est ce qui se passe dans la racine du *Phajus grandifolius*.

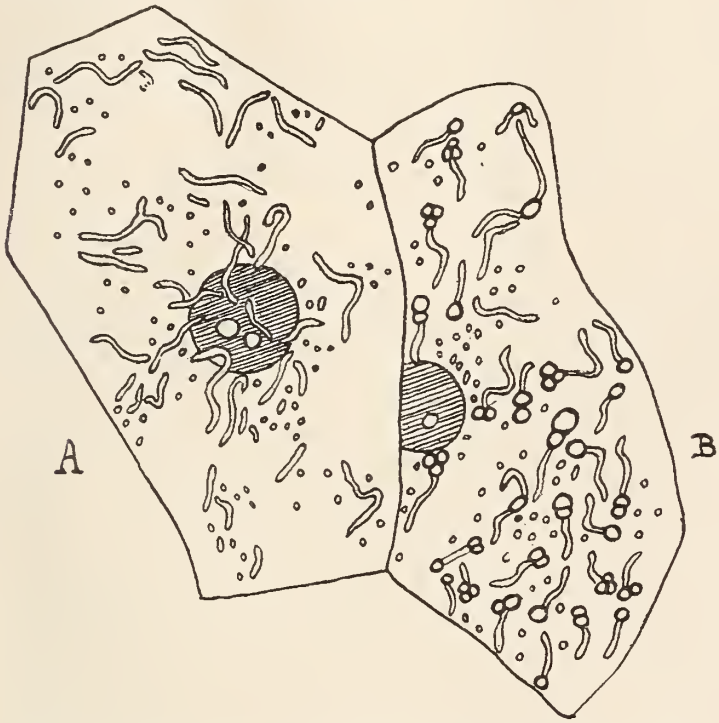
c) Ou bien les leucoplastes proviennent de la différenciation des grains d'un chondriomite comme dans la racine de *Ficaria renunculoïdes*.

d) Ou bien enfin les leucoplastes résultent de la différenciation de mitochondries granuleuses isolées ; c'est ce qui a lieu dans le tubercule de pomme de terre (1).

Comme pour les chloroleucites, Guilliermond contrôla ces premières observations faites sur des tissus fixés et colorés par des observations *in vivo*. Son étude porta sur les cellules épidermiques des pétales d'*Iris Germanica*. « Les chondriocontes, dit-il, se transforment en leucoplastes inactifs, ne produisant pas d'amidon. Cette transformation s'effectue peu à peu lentement et selon l'un des modes que nous avons décrits dans nos précédentes recherches. Les leucoplastes apparaissent sous forme de renflements qui se produisent

(1) Société de Biologie, 13 juillet 1912.

sur le trajet des chondriocontes. Tantôt il se forme un seul renflement au milieu ou à l'une des extrémités d'un chondrioconte, tantôt il s'en produit deux, l'un à chacune des extrémités du chondrioconte Enfin, dans quelques cas, un même chondrioconte peut former à lui seul 3 ou 4 leucoplastes. Chacun de ces leucoplastes augmente de volume, puis la portion effilée du chondrioconte qui les réunit se résorbe et les leucoplastes s'isolent sous forme de gros grains de forme sphérique ou ovale » (1).



Cellules épidermiques de l'anthère d'une jeune fleur d'Iris germanica montrant en A le chondriome formé de mitochondries et de chondriocontes, en B les chondriocontes élaborant des grains d'amidon.
(Dessiné sur le vivant à un grossissement de 1.500).
D'après Guilliermond. Revue Générale de Botanique, 1919, p. 80.

Ainsi, pour Guilliermond, les leucoplastes comme les chloroplastes proviendraient de la différenciation des chondriocontes.

(1) Société de Biologie, 14 juin 1913.

3. *Mitochondries et chromoplastes.*

En 1912, Guilliermond fit des observations sur la racine de carotte soit après fixation et coloration selon la méthode IV de Regaud, soit fraîche et sans coloration.

Sur préparation colorée, il observa tout d'abord la transformation des chondriocontes en leucoplastes élaborant de l'amidon. Cet amidon grossissait aux dépens des leucoplastes qui se trouvaient finalement réduits à de minces pellicules. A un moment donné, le leucoplaste semblait se régénérer en digérant son amidon et se transformait alors en chromoplaste élaborant un cristallite de carotine. Ayant pu suivre les mêmes évolutions sur préparation vivante non colorée, il distingua comme deux stades dans la formation des chromoplastes chez la carotte :

1er stade : formation des leucoplastes aux dépens des chondriocontes.

2me stade : formation des chromoplastes aux dépens des leucoplastes.

L'année suivante, ayant été amené à observer des pétales d'*Iris germanica* à l'état frais, il put suivre sur cette plante la formation des chromoplastes directement aux dépens des mitochondries elles-mêmes.

« Les chromoplastes, dit-il, naissent exactement par le même processus que les leucoplastes sous forme de renflements développés sur le trajet d'un chondrioconte. Dès le moment où va commencer cette différenciation, tous les chondriocontes, même avant d'avoir développé leurs renflements, s'imprègnent de pigment xanthique et apparaissent nettement colorés en jaune. Une fois adultes, les chromoplastes se présentent, comme les leucoplastes, sous forme de gros corpuscules arrondis, ovoïdes ou fusiformes... La formation de chromoplastes n'est jamais précédée ici d'une élaboration d'amidon, contrairement à ce qu'on observe pour la formation de la carotine dans la racine de carotte. Les chromoplastes se forment directement aux dépens des mitochondries sans passer par l'intermédiaire des plastes amylogènes » (1).

(1) Société de Biologie, 14 juin 1913.

Étant revenu, en 1915, à l'observation de la même fleur (*Iris germanica*) il constata, contrairement à ce qu'il avait annoncé en 1913, que les chondriocontes, avant de se transformer en chromoplastes, produisaient toujours de petits grains d'amidon soit simples soit composés, mais purement transitoires. En même temps que l'amidon apparaissait, les chondriocontes s'imprégnaient de xanthophylle, puis formaient de petits renflements qui étaient l'origine des chromoplastes. Ces chromoplastes, ou bien restaient adhérents au chrondrioconte, ou bien le plus souvent s'en détachaient. Ils présentaient en leur centre une grosse vacuole incolore, le pigment étant localisé sur toute la périphérie à l'état diffus.

Deux ans plus tard, ayant observé les cellules épidermiques de la fleur de Tulipe (*Tulipa suaveolens*), il constata, cette fois encore, que le chondrioconte, en même temps qu'il s'imprégnait de pigment jaune pâle, élaborait de petits grains d'amidon transitoires.

Il semble donc que l'élaboration d'amidon par le chondrioconte avant sa transformation en chromoplaste, soit assez générale et assez uniforme ; ce qui peut varier c'est l'élaboration même du pigment ainsi que le mode de formation du chromoplaste. Ou bien, en effet, c'est le chondrioconte lui-même qui s'imprègne de pigment et sans changer de forme devient chromoplaste ; ou bien, le chondrioconte après s'être imprégné de pigment se renfle aux extrémités, lesquelles constituent alors proprement les chromoplastes ; ou bien le chondrioconte commence par se renfler, formant des plastes incolores, qui, dans la suite, se colorent, devenant chromoplastes et pouvant soit rester fixés sur le chondrioconte qui leur a donné naissance, soit s'en détacher. Mais quel que soit le mode de formation du chromoplaste et du pigment, Guilliermond croit toujours pouvoir rattacher le chromoplaste au chondrioconte et faire provenir celui-là de celui-ci.

Notons ici, pour être complet, que d'après Emberger et Mangenot, les chloroplastes des Cryptogames vasculaires, comme les phœoplastes des Fucacées, devraient également être rattachés au système mitochondrial, puisque, d'après leurs observations (C. R. Ac. des Sc. 9 mai 1921 et 23 février 1922), ces plastes, à certains stades de la vie cellulaire, pourraient perdre leurs pigments, devenir de véritables chondrio-

contes, parfois même des mitochondries granuleuses et puis redevenir plastes en régénérant dans la suite leurs pigments.

IV. — Rôle élaborateur des mitochondries

1. *Élaboration des matières de réserve.*

a) L'Amidon. — Nous venons de voir le rôle primordial que joueraient, d'après Guilliermond, les mitochondries dans la formation des plastes. A ce rôle se rattache étroitement celui qu'elles joueraient aussi dans l'élaboration de l'amidon.

Avant les travaux de Guilliermond on admettait bien que dans la plupart des cas l'amidon se formait aux dépens des plastes, qu'il était en quelque sorte produit par eux ; mais certains auteurs admettaient également que l'amidon pouvait se former parfois directement au sein du cytoplasme.

D'après Guilliermond, cette dernière proposition serait aujourd'hui à rejeter ; jamais l'amidon ne se formerait ainsi directement aux dépens du cytoplasme. D'après lui, semble-t-il, tout grain d'amidon proviendrait soit d'un chondrioconte déjà transformé en chloro- ou leucoplaste, soit d'un chondrioconte en train de se transformer en chromoplaste, et si certains observateurs ont cru voir l'amidon se former directement dans le cytoplasme, ce serait uniquement parce que les chondriocontes qui lui donnaient naissance, n'avaient pu être décelés, soit à cause de leur petitesse, soit faute de techniques appropriées.

En parlant, plus haut, de la formation des chloro- et leucoplastes aux dépens des mitochondries, nous avons déjà signalé en passant la production d'amidon soit par le chloroplaste, soit par le leucoplaste. Revenons sur ce point avec quelques détails.

Dès ses premières observations sur la formation des chloroleucites dans la gemmule d'Orge, Guilliermond avait constaté que les chloroleucites une fois formés prenaient un aspect alvéolaire, qui lui semblait dû à la présence d'un ou plusieurs grains d'amidon incolores. Ayant observé dans la suite des gemmules de Graminées, il constata que souvent les chloroleucites dès leur apparition élaboraient dans leur intérieur un ou plusieurs grains d'amidon qu'il parvint à colorer

par l'iodo-iodure de potassium. Cet amidon se résorbait dans la suite, pendant la croissance du chloroleucite lequel, une fois pleinement constitué, pouvait de nouveau produire d'autres grains d'amidon.

Mais c'est surtout la formation de l'amidon aux dépens des leucoplastes, que Guilliermond étudia avec un soin tout particulier.

Son premier travail porta sur la formation des grains d'amidon dans les tubercules de pomme de terre. Une fois les leucoplastes formés dans les cellules jeunes du parenchyme cortical, de la manière décrite plus haut, il vit apparaître en leur centre un point incolore qui se transformait en grain d'amidon.

« Le grain d'amidon ainsi formé, dit-il, grossit peu à peu, la membrane mitochondriale qui l'entoure s'amincit de plus en plus vers l'un des pôles et prend sur l'autre l'aspect d'une petite calotte. Bientôt cette membrane se trouve interrompue et réduite à une simple calotte embrassant le grain sur un des côtés. Le grain présente alors l'aspect caractéristique d'un grain d'amidon avec un hile et des zones concentriques. La petite calotte finit à son tour par disparaître entièrement dès que le grain d'amidon a acquis une certaine dimension. A ce moment, il ne reste plus aucune trace du leucoplaste» (1)

Le grain d'amidon se formerait donc, d'après lui, non pas à la surface externe du leucoplaste, comme le prétendait Schimper, mais à l'intérieur.

Un mois plus tard, ayant observé la racine du *Phajus grandifolius*, il constate que, là, le grain d'amidon se forme sur la surface externe du chondrioconte : « Le grain d'amidon, dit-il, apparaît à un endroit quelconque de la surface du chondrioconte... L'un des côtés du grain est à nu, l'autre s'enfonce dans la substance mitochondriale. Ce grain s'accroît peu à peu aux dépens du chondrioconte, qui, au bout d'un certain temps, lorsque le grain est devenu très gros, finit par se réduire à une petite calotte enveloppant ce dernier sur un de ses côtés » (2). Et comme il fut dans la suite amené à conclure que ce chondrioconte élaborant de l'amidon n'est plus à

(1) C. R. Académie des Sciences, 26 décembre 1911.
(2) C. R. Académie des Sciences, 29 janvier 1912.

proprement parler un chondrioconte, mais un leucoplaste, ce serait donc, comme le disait Schimper, sur la surface externe du leucoplaste que se formerait l'amidon dans la racine du *Phajus grandifolius*. Mais à la suite d'observations plus précises, il crut devoir revenir sur ce dernier point : « Les grains d'amidon, dit-il, sont élaborés d'abord dans l'intérieur du leucoplaste, mais dans une région voisine de sa périphérie » (1). Ce ne serait que plus tard que les grains feraient saillie à l'extérieur et qu'un de leurs côtés deviendrait à nu.

L'année suivante, il étudia la formation de l'amidon dans les jeunes plantules de graines en germination et constata que là encore les grains d'amidon se formaient aux dépens de la substance du leucoplaste dans lequel ils se trouvaient inclus.

Mais, au dire de Guilliermond, les chloro- et leucoplastes dérivés des chondriocontes ne seraient pas, dans la cellule végétale, les seuls organes producteurs d'amidon. D'après lui, en effet, comme nous l'avons vu plus haut, les chondriocontes, avant de s'imprégner de pigments xanthophylliens et carotiniens pour devenir chromoplastes, élaboraient également, d'une manière assez générale, des grains d'amidon. C'est dans les cellules épidermiques de la fleur de *Tulipa suaveolens* et d'*Iris germanica* qu'il a pu observer le plus nettement cette formation d'amidon : « On voit naître, dit-il, sur le trajet des chondriocontes (futurs chromoplastes), de petits grains brillants qui représentent de l'amidon et que l'on peut colorer par l'iodo-iodure de potassium sans altérer les chondriocontes. Ces grains apparaissent tantôt sur les deux extrémités, tantôt sur l'une des extrémités d'un chondrioconte ; parfois aussi sur la région médiane ou sur plusieurs points du trajet des chondriocontes. Ils sont simples ou composés... » (2).

Guilliermond pense que ces grains d'amidon élaborés au sein des chondriocontes constitueraient des matières de réserve pour la plante, et ne serviraient pas, comme certains l'ont cru, à la formation du pigment.

(1) Archives d'Anatomie microscopique, 1912. Tome XIV.

(2) Société de Biologie, 15 mai 1915 et Revue générale de Botanique, 1919, p. 372.

b) Le Glycogène. — Cette matière de réserve, si fréquente chez les champignons, serait, elle aussi, probablement le produit des mitochondries. Dans ses observations sur *Pustularia vesiculosa*, Guilliermond constata que la partie basale de l'asque, où se trouvait le glycogène, présentait de longs chondriocontes répartis dans toute la trame cytoplasmique qui limite les vacuoles. « La plupart de ceux-ci, dit-il, offrent à l'une de leurs extrémités ou en plusieurs points de leur trajet des vésicules... Comme elles occupent exactement la région de la cellule où s'élabore le glycogène, il est permis de penser que c'est à leur intérieur que ce produit prend naissance. Toutefois, on ne peut obtenir la démonstration de cette hypothèse parce que les méthodes mitochondriales ne permettent pas la fixation du glycogène... Cependant, l'observation d'asques frais traités par l'iodo-iodure au moment où commence l'élaboration du glycogène permet de constater que le glycogène apparaît d'abord dans la trame cytoplasmique sous forme de petits granules de la dimension des vésicules mitochondriales, ce qui donne une certaine vraisemblance à cette hypothèse » (1).

Dans ces quelques lignes, nous pouvons voir à la fois les motifs sur lesquels repose l'hypothèse de Guilliermond et le degré de certitude que l'auteur croit pouvoir accorder à sa déduction.

c) Les Graisses. — Pour ce qui est de l'élaboration des graisses ses observations sont plus concluantes. Après avoir remarqué que les globules graisseux peu nombreux dans *Pustularia vesiculosa* se localisent dans le cytoplasme périnucléaire, il constata, à l'aide des méthodes de Benda et de Meves, qui colorent en noir les graisses par l'acide osmique, que les corpuscules graisseux paraissaient insérés à l'extrémité de certains chondriocontes, ce qui lui sembla indiquer que ces corpuscules naissaient dans l'intérieur des chondriocontes.

Deux ans après, observant les cellules épidermiques de la fleur d'*Iris germanica*, il put suivre l'élaboration de ces corpuscules graisseux aux dépens des mitochondries. « Les chondriocontes, écrit-il, ne tardent pas à produire sur leur trajet de très petits globules qui, par leur aspect brillant,

(1) Société de Biologie, 28 décembre 1913.

se détachent nettement du reste des chondriocontes plus flous et plus transparents. Ces globules présentent les caractères des graisses... Ces globules apparaissent d'ordinaire soit à l'une des extrémités du chondrioconte, soit à ses deux extrémités, soit au milieu de son trajet. On voit apparaître dans ces régions, d'abord un seul petit globule graisseux, puis les parties du chondrioconte occupées par ces globules se renflent légèrement, constituant de très petits plastes dans lesquels se forment peu à peu d'autres globules graisseux. Finalement, chacun de ces plastes renferme un grand nombre de globules graisseux » (1).

Dans un travail considérable sur l'origine des chromoplastes, paru en 1919 dans la REVUE GÉNÉRALE DE BOTANIQUE, Guilliermond relate de nouveau l'élaboration de corpuscules graisseux par les chondriocontes soit avant, soit après leur transformation en plastes. Mais il signale également que des corpuscules graisseux peuvent apparaître au sein du cytoplasme sans aucune relation apparente avec le chondriome.

Quel serait le rôle des corpuscules graisseux élaborés au sein des chondriocontes ? Question difficile et complexe que Guilliermond n'ose trancher définitivement, mais il incline à croire que certains de ces corpuscules du moins seraient des produits de dégénérescence, tandis que d'autres au contraire seraient des produits de réserve.

2. *Élaboration des pigments et des corpuscules métachromatiques.*

Au dire de Guilliermond et de Moreau qui ont particulièrement étudié la question, le rôle élaborateur des mitochondries ne se bornerait pas seulement à l'élaboration des différentes matières de réserve, mais aux mitochondries il faudrait encore attribuer l'élaboration des différents pigments végétaux et des corpuscules métachromatiques.

a) Élaboration des pigments.

En parlant précédemment de la formation des chloroplastes et des chromoplastes nous avons décrit comment les chondriocontes, qui leur donnaient naissance, s'imprégnaient

(1) SOCIÉTÉ DE BIOLOGIE, 15 mai 1915.

peu à peu de chlorophylle, de xanthophylle ou de carotine soit avant même d'avoir subi une transformation morphologique, soit, le plus souvent, après. Nous n'y reviendrons pas ici. Notons seulement que d'après Guilliermond la formation des pigments carotiniens et xanthophylliens s'effectuerait par des procédés divers qu'il croit pouvoir ramener à trois types : le pigment apparaîtrait en effet au sein de chondriocontes ou de chromoplastes issus de mitochondries : soit sous forme de fines granulations, comme dans la fleur de Tulipe, ce qui serait le cas le plus fréquent ; soit sous forme de cristaux, comme dans la fleur de Glaïeul ; soit à l'état diffus.

Mais à côté de ces pigments, il en est d'autres : les pigments anthocyaniques, dont la formation était toujours restée assez obscure. C'est à l'étude de ces pigments que s'attachèrent de préférence Guilliermond et Moreau.

Guilliermond commença par observer les feuilles très jeunes du rosier et put suivre dans les dents de ces feuilles tous les processus de la formation de l'anthocyane aux dépens des chondriocontes. Les chondriocontes commençaient par se grouper autour du noyau, puis s'imprégnaient de pigments rouges. Prenant ensuite la forme d'haltères, ils se coupaient bientôt par le milieu, donnant ainsi naissance à deux sphérules pigmentaires qui grossissaient et finalement émigraient dans de petites vacuoles préformées dans la cellule où elles se dissolvaient. Plus tard ces différentes vacuoles se fusionnaient en une grosse vacuole uniformément colorée en rouge.

Des observations faites encore sur les feuilles de rosier lui montrèrent que l'anthocyane pouvait se former aussi de manière différente. Il put voir en effet dans de nombreuses cellules, des chondriocontes qui élaboraient, de la même manière que dans le cas précédent, un composé phénolique incolore ne prenant que plus tard le caractère de pigment. Ces chondriocontes se distinguaient nettement des autres par un aspect plus brillant et par une affinité spéciale pour le bleu de méthylène qui colorait le composé phénolique. Ce composé phénolique pouvait ne se pigmenter que dans les grosses sphérules issues des chondriocontes, juste avant de se dissoudre dans les vacuoles, ou même ne se pigmenter jamais.

L'examen de jeunes plantules de Ricin lui montra exac-

tement les mêmes phénomènes. L'anthocyane le plus souvent apparaissait directement à l'état de pigment dans les mitochondries, mais parfois aussi elle était précédée de la formation d'un composé phénolique incolore qui se pigmentait dans la suite, ou bien restait constamment incolore.

Dans les jeunes tubercules de pomme de terre, il constata que l'anthocyane se formait là directement aux dépens des mitochondries granuleuses sans passer par le stade de composé phénolique incolore. Les mitochondries se transformaient peu à peu en vésicules formées d'une mince écorce mitochondriale renfermant le pigment.

Il résultait donc de ces premières recherches que l'anthocyane était toujours un produit des mitochondries soit directement, soit indirectement en passant par un composé phénolique incolore.

Pensa, de son côté, ayant fait des recherches sur la formation de l'anthocyane, attribua lui aussi à ce pigment une origine mitochondriale, mais donna une description différente des phénomènes. Pour lui, les mitochondries chargées de pigment s'anastomoseraient entre elles et se transformeraient en une sorte de réseau, qui finirait par faire une énorme masse pigmentaire. Tel n'est pas l'avis de Guilliermond. Au dire de cet auteur, les figures observées par Pensa résulteraient d'une altération cellulaire produite par un trop long séjour dans l'eau. Si l'on prend soin, en effet, de fixer la préparation par la méthode de Regaud, les figures observées sont alors exactement superposables à celles décrites la première fois par lui-même.

S'il était alors admis par plusieurs que les pigments anthocyaniques des feuilles se formaient aux dépens des mitochondries, on semblait cependant encore attribuer une autre origine à l'anthocyance des fleurs.

L'observation de la fleur d'*Iris germanica* avait, en effet, montré à Politis que l'anthocyane se formait là dans un petit corpuscule sphérique unique par cellule, qui se pigmentait, grossissait et puis, après s'être introduit dans une vacuole, s'y dissolvait. D'après Politis ce corpuscule aurait été d'origine cytoplasmique. Dès novembre 1913 cependant Guilliermond croit pouvoir rattacher ce corpuscule appelé « Cyanoplaste » aux mitochondries. L'année suivante, Moreau

soutient nettement que l'anthocyane des fleurs a, elle aussi, une origine mitochondriale : il avait pu en effet constater dans les pétales d'*Anagallis arvensis* un chondriome filamenteux coloré en bleu par l'anthocyane et dans les poils de *Lychnis dioïca* de nombreux corpuscules anthocyaniques de tailles variées, dont l'origine mitochondriale lui semblait indiscutable. En 1915, Guilliermond adopte pleinement la manière de voir de Moreau et ajoute aux observations de ce dernier plusieurs observations faites par lui.

Dans la fleur de *Canna florifera*, il avait vu l'anthocyane se former directement au sein des mitochondries, comme dans les folioles de Rosier.

Dans les Roses (variété rouge) l'anthocyane se formait indirectement. Il y avait d'abord formation d'un composé phénolique au sein des mitochondries, puis dissolution de ce composé phénolique incolore dans les vacuoles, et alors seulement transformation de ce composé phénolique en anthocyane.

Dans la fleur de *Pelargonium zonale* il distingua deux élaborations successives d'anthocyane : la première élaboration se faisait indirectement comme chez les roses ; la seconde au contraire semblait se faire directement aux dépens de mitochondries granuleuses.

Dans la fleur d'*Iris germanica*, il distingua également deux élaborations successives : dans la première, l'anthocyane se formait aux dépens du cyanoplaste, d'origine mitochondriale d'après lui ; dans la seconde, l'anthocyane se formait directement aux dépens des chondriocontes.

S'appuyant sur ces diverses observations, Guilliermond et Moreau soutiennent donc que l'anthocyane des fleurs a même origine que l'anthocyane des autres organes végétaux, c'est-à-dire une origine mitochondriale, mais que le processus de formation, suivant les cas, peut varier considérablement.

b) Élaboration des corpuscules métachromatiques.

Dans ses études sur *Pustularia vesiculosa*, Guilliermond observa très attentivement les relations des chondriocontes avec les corpuscules métachromatiques. Il constata tout d'abord que là où le chondriome est le plus riche, là aussi les corpuscules métachromatiques sont le plus nombreux. Puis, observant attentivement l'évolution du chondriome,

il constata toutes les formes de transition entre les chondriocontes et les corpuscules métachromatiques. « Les chondriocontes, dit-il, produisent de nombreuses vésicules de sécrétion ; celles-ci, très petites, apparaissent soit à l'une des extrémités du chondrioconte, soit à ses deux extrémités, soit en son milieu, soit enfin sur plusieurs points de son trajet. A côté de ces figures, on observe des vésicules absolument semblables et de même dimension, mais situées en dehors des chondriocontes... Elles semblent avoir été formées dans les chondriocontes et s'être ensuite isolées par résorption de la partie effilée de ceux-ci. Il n'est pas rare, en effet, de rencontrer de semblables vésicules encore pourvues d'une sorte de queue plus ou moins courte qui représente le reste du chondrioconte » (1). De plus, dans les vacuoles, il voit de grosses vésicules constituées par un grain incolore entouré d'une écorce mitochondriale, qui disparaîtra totalement dans la suite lorsque le corpuscule métachromatique sera arrivé au terme de son développement. Des préparations colorées par le bleu de crésyl lui ont en outre montré que le contenu des vésicules situées dans les vacuoles,et parfois même le contenu des vésicules situées sur le trajet des chondriocontes, prenait la teinte métachromatique. Ceci semble donc bien démontrer, conclut Guilliermond, que les corpuscules métachromatiques sont élaborés au sein des mitochondries.

L'année suivante, Beauverie, observant une Urédinée *Puccinia malvacearum*, conclut également à l'élaboration des corpuscules métachromatiques par des mitochondries. Il vit des mitochondries extrêmement petites, et d'autres plus grosses ainsi que des corpuscules incolores entourés d'un cercle noir ou d'une simple calotte et enfin de grosses vésicules entièrement incolores. « Ces granules et vésicules, dit-il, ne sont autres que les corpuscules métachromatiques... On a donc tous les intermédiaires entre mitochondries et corpuscules métachromatiques, l'élaboration se poursuivant par le moyen d'une écorce, puis d'une calotte mitochondriale » (2).

Quelques mois plus tard, Moreau constatait par l'emploi

(1) C. R. Académie des Sciences, 7 juillet 1913.
(2) Société de Biologie, 17 février 1914.

d'une double coloration (méthode de Regaud et bleu de crésyl) l'existence d'un corpuscule métachromatique au sein d'une mitochondrie granuleuse dans la zygospore de *Sporodinia grandis*.

A cette époque, ces trois auteurs admettaient donc nettement l'origine mitochondriale des corpuscules métachromatiques et de l'anthocyane. Nous verrons plus loin, que Guilliermond a, sur ce point, changé sa manière de voir.

V. Altérations et dégénérescence du chondriome

Ces deux dernières années, l'étude de l'altération du chondriome sous l'influence de certains milieux, ainsi que celle de sa dégénérescence au cours de la fanaison des fleurs, a été faite par Guilliermond, Beauverie, Policard et Mangenot (1). Leurs observations peuvent se résumer ainsi :

Sous l'influence des milieux hypotoniques, comme l'eau pure par exemple, on voit tout d'abord se former sur le trajet des chondriocontes une série de petites vésicules qui bientôt se séparent les unes des autres, pendant que les mitochondries granuleuses et les courts bâtonnets se vacuolisent. Au bout d'un temps plus ou moins long, la cellule meurt. Les vésicules mitochondriales se gonflent alors de plus en plus, arrivent au contact les unes des autres et donnent au cytoplasme la structure alvéolaire décrite par Bütschli. Finalement ces vésicules éclatent sous la pression du liquide intérieur et il ne reste plus que leur paroi sous forme de minces filaments. Les plastes, quoiqu'un peu plus résistants, se conduisent de la même manière.

Sous l'influence des milieux hypertoniques, les chondriocontes paraissent tout d'abord se contracter légèrement, car ils s'amincissent sensiblement. Mais quand, sous l'influence de ce milieu, la cellule meurt, chondriocontes et mitochondries granuleuses se conduisent comme dans le cas du milieu hypotonique.

Certains agents physiques comme la pression, le choc, la

(1) C. R. Académie des Sciences, 16 avril 1917 ; 9 mai 1921 ; 27 février 1922. Société de Biologie, 30 juin 1917 ; 28 juillet 1917. Revue générale de Botanique, 1919, p. 372.

chaleur (45° à 50°) le gel (-15°) ; ou chimiques comme le chloroforme, l'éther, la solution acétique, etc... produisent les mêmes effets que la solution hypotonique.

Des phénomènes semblables s'observent pendant la dégénérescence cellulaire. Durant la fanaison des fleurs, en effet, les chondriocontes perdent leur aspect onduleux et deviennent rectilignes, puis ils se transforment en chondriomites dont les grains se séparent les uns des autres, se gonflent en vésicules dont les parois se remplissent d'ordinaire d'inclusions graisseuses, pour se résoudre finalement en globules graisseux et en petits grains fuchsinophiles.

VI. — Quelques positions adverses

Dans les pages qui précèdent nous avons exposé tout un ensemble de recherches et de travaux tendant à montrer que les mitochondries seraient des organites cellulaires, disséminés dans le cytoplasme de toute cellule végétale, se présentant sous forme de granulations, de bâtonnets courts, de filaments plus ou moins ramifiés, produisant par une double modification morphologique et chimique les différents plastes : chloro-, leuco- et chromoplastes, et élaborant dans leur intérieur des produits variés, tels que l'amidon, le glycogène, les graisses, les pigments, les corpuscules métachromatiques.

Cette conception du chondriome végétal, exposée et défendue primitivement par Guilliermond, admise dans ses grandes lignes au moins par un certain nombre d'auteurs, comme Moreau, Beauverie, Meves, Cowdry, etc..., n'est cependant pas adoptée, tant s'en faut, par l'ensemble des cytologistes actuels. Elle est au contraire, aujourd'hui surtout, très vivement combattue par plusieurs qui conçoivent autrement la constitution cellulaire.

1. La conception la moins opposée à celle de Guilliermond est celle proposée par Rudolph, Scherrer, Sapehin et Mottier. D'après ces auteurs, toute cellule végétale posséderait bien un chondriome composé de mitochondries granuleuses et de filaments, mais ce chondriome ne donnerait jamais naissance aux plastes ; aussi faudrait-il nettement distinguer des mitochondries véritables, les plastides produisant les plastes. Sans doute, disent-ils, mitochondries et plastides

sont semblables par leurs formes et leurs manières de se colorer, mais, dès leur origine cependant, les plastides diffèrent des mitochondries par leurs dimensions plus élevées ; de plus tandis que les mitochondries resteront toujours mitochondries, les plastides eux évolueront toujours en plastes. Le principal argument de ces auteurs en faveur de la distinction radicale entre mitochondries et plastides, c'est la présence, chez les Muscinées, pendant tout le cours de leur développement, de chloroplastes, existant toujours sous forme de chloroplastes, et coexistant à côté de mitochondries véritables.

Guilliermond rejette absolument cette distinction : d'après lui, les plastes dérivent d'organites en tout semblables aux mitochondries et ne sont que des mitochondries différenciées. L'observation de la racine de Courge lui montra, en effet, dans les cellules les plus jeunes, un chondriome formé par des mitochondries granuleuses ou en courts bâtonnets et par des chondriocontes. « Ces divers éléments, dit-il, ne présentent aucune différence dans leurs dimensions et leurs colorations et semblent donc être tous de même nature » (1). Sans doute, les chondriocontes seront seuls ici à donner des plastes, mais cela suffit-il pour dire que les chondriocontes et les mitochondries granuleuses sont deux variétés distinctes par leur origine ? Il semble que non, dit-il, puisque, dans la pomme de terre, ce sont les mitochondries granuleuses qui donnent les leucoplastes et les chloroplastes et que souvent les chondriocontes eux-mêmes semblent provenir de la croissance de mitochondries granuleuses.

Étant revenu encore sur ce sujet dans des travaux plus récents (2), Guilliermond insiste de nouveau sur la nature mitochondriale des plastides de Mottier. « Comme les deux catégories d'éléments qui constituent le chondriome, dit-il, (à savoir chondriocontes ou plastides et mitochondries) présentent les mêmes caractères de fixation et de coloration, jouissent l'une et l'autre de la propriété de se diviser et de passer de l'état de grain à celui de filament et inversement, et ne se distinguent pas dans les cellules du méristème, on est

(1) C. R. Académie des Sciences, 16 septembre 1918.

(2) C. R. Académie des Sciences, 19 janvier 1920 et 10 janvier 1921. Société de Biologie, 15 mars 1920 au 17 janvier 1921.

forcé d'admettre qu'elles font toutes deux partie du chondriome, mais, ajoute-t-il, qu'elles constituent deux variétés de mitochondries. » Notons cette dernière phrase qui est l'annonce d'une nouvelle nuance dans la position de Guilliermond. Pour cet auteur, en effet, il faudrait actuellement distinguer dans le chondriome « des variétés distinctes de mitochondries, morphologiquement semblables, mais prédestinées à des fonctions spéciales et conservant chacune leur individualité au cours du développement ».

Cette manière de voir est partagée par Mangenot et Emberger qui, dans leurs intéressants travaux sur les algues et les fougères, arrivent à la même conclusion (1).

2. Une autre conception de la cellule végétale, en profond désaccord avec celle de Guilliermond, est la conception de M. P. A. Dangeard.

Après avoir fait, particulièrement dans la REVUE DE MYCOLOGIE, plusieurs publications sur des points de détail, P. A. Dangeard, en mars 1918, donnait à l'Académie des Sciences un aperçu général de sa manière de voir. Pour lui, à cette époque, non seulement le chondriome devait être nettement distingué des différents plastes, chloro-, leuco- et chromoplastes, mais il devait encore être envisagé tout autrement qu'on ne l'avait fait jusqu'ici.

Le chondriome pouvait se définir, disait-il alors, « l'ensemble du système vacuolaire sous ses aspects variés et successifs ». Ce sont, ajoutait-il, « quelques-uns de ces aspects, désignés sous le nom de mitochondries, de chondriomites et de chondriocontes qui ont fait croire à des relations d'origine avec les plastes ; c'est également par suite de cette fausse interprétation que l'on a attribué la formation d'anthocyane et celle de corpuscules métachromatiques à des plastes » (2).

Voyons rapidement comment Dangeard développait et prouvait ces différentes affirmations.

1re Proposition : Le chondriome est l'ensemble du système vacuolaire sous ses aspects variés et successifs, sans

(1) C. R. ACADÉMIE DES SCIENCES, 2 février, 28 juin, 26 juillet et 18 octobre 1920. SOCIÉTÉ DE BIOLOGIE, 23 février 1920.

(2) C. R. ACADÉMIE DES SCIENCES, 18 mars 1918.

aucune relation avec le plastidome, c'est-à-dire avec l'ensemble des plastes.

Pour Dangeard, en effet, le système vacuolaire, à ses différents états et chez toutes les plantes, renferme en solution plus ou moins épaisse une substance (la métachromatine) se colorant en rouge par le bleu de crésyl, qui ne colore jamais le plastidome et qui, modérément employé, n'altère en aucune façon la cellule. Ceci posé, si l'on fait agir sur une cellule végétale le bleu de crésyl, on constate que mitochondries, chondriocontes, chondriomites et vacuoles ordinaires sont constitués par de la métachromatine qui se teint en rouge. Ceci prouve pour le moins, dit-il, une étroite parenté entre le chondriome et les vacuoles ordinaires. Mais il y a plus, et Dangeard dit avoir pu suivre, dans la cellule vivante, les différentes transformations des éléments du chondriome aboutissant finalement aux vacuoles ordinaires. Cette transformation pourrait se faire d'après lui en moins de 30 secondes.

« Si l'ensemble des mitochondries, des chondriocontes et des chondriomites, conclut-il, donne ainsi naissance au système vacuolaire ordinaire, ce qui n'est pas contestable, il ressort de là que ces éléments n'ont rien à voir avec l'origine des différents plastes, comme on nous l'affirme » (*Ibid.*).

2e Proposition : Les corpuscules métachromatiques ne proviennent pas de plastes mitochondriaux pénétrant dans les vacuoles pour y achever leur croissance.

Ils proviennent en effet simplement de la précipitation de la métachromatine répartie dans tout le système vacuolaire, précipitation se faisant soit sous l'action d'un colorant vital, soit sous l'action d'un fixateur comme l'alcool absolu ou l'acide osmique.

Sur ce point, Mirande, qui a observé différentes espèces de Chara, semble d'accord avec Dangeard. « Aucune des espèces étudiées, dit-il, ne m'a paru présenter dans les divers organes de la plante, sur le vivant et à l'état figuré, de la substance métachromatique, c'est-à-dire des corpuscules de matières douées de métachromasie sous l'influence de certains colorants basiques. De la substance métachromatique existe cependant en abondance, mais sous forme de solution dans les vacuoles. Si donc, après avoir coloré la cellule par le bleu de crésyl, on observe la préparation au microscope

en faisant agir en même temps un fixateur quelconque, on voit se former dans toutes les vacuoles colorées un précipité dont la forme varie un peu avec le réactif employé ; en même temps, la vacuole se décolore complètement et le colorant se portant exclusivement sur les corpuscules précipités leur donne une couleur violacée ou rougeâtre » (1). Mais si, d'après Mirande, les corpuscules métachromatiques se forment par précipitation d'une substance en solution dans les vacuoles, le système chondrial, pour cet auteur, n'en est pas moins essentiellement distinct du système vacuolaire et ne doit pas être confondu avec lui.

3me Proposition : L'anthocyane n'est pas formée par les mitochondries. Elle serait formée par la métachromatine des vacuoles, grâce à son pouvoir électif et osmotique. Au fur et à mesure que l'anthocyane est formée dans la cellule, la métachromatine des vacuoles, grâce à ce double pouvoir, l'accumule en elle comme elle le fait pour le colorant vital. « C'est ainsi, dit Dangeard, que non seulement les feuilles de teinte rouge, mais aussi les pétales de nombreuses fleurs, ont leur chondriome coloré électivement par l'anthocyane ; celle-ci apparaît à un stade quelconque aussi bien dans les mitochondries et chondriocontes que dans les grandes vacuoles de la cellule âgée » (2).

Dans une autre communication à l'Académie des Sciences (1er décembre 1919) Dangeard a précisé sa manière de voir en la modifiant, semble-t-il, quelque peu.

Il distingue dans le cytoplasme de toute cellule végétale 3 sortes de formations complètement distinctes « par leur origine, par leur nature et par leur rôle ».

1° Le vacuome ou ensemble du système vacuolaire se colorant seul en bleu ou en rouge par le bleu de crésyl ou le vert Janus, se présentant sous forme d'éléments sphériques, plus ou moins nombreux de métachromatine ; ces éléments ou « métachromes » s'allongent, s'étirent, s'entrecroisent, se fusionnent et forment finalement un réseau : sur ce réseau, il se produit des renflements qui, à leur tour, se réunissent en vacuoles de plus en plus grosses. A un moment quel-

(1) C. R. Académie des Sciences, 5 novembre 1917.
(2) C. R. Académie des Sciences, 18 mars 1918.

conque de cette évolution, sous l'influence d'un colorant vital, la métachromatine peut se condenser en corpuscules métachromatiques.

2° Le plastidome ou ensemble des plastes parmi lesquels il faut distinguer les plastes occupant les points de végétation et les méristèmes, à cause de leurs caractères particuliers. Ces plastes, qui donnent naissance aux amyloplastes et aux chloroplastes, il les appelle « mitoplastes ». Ces mitoplastes, dit-il, ont été souvent confondus et réunis sous le nom de mitochondries, de chondriocontes et de chondriomites avec des éléments du vacuome et du sphérome.

3° Le sphérome ou ensemble des microsomes, englobés parfois dans le chondriome sous le nom de mitochondries. Ces microsomes sont de petites sphérules très réfringentes, d'aspect oléagineux et noircissant par l'acide osmique. Ces microsomes sont nettement distincts des mitoplastes, car si l'on applique la méthode de Regaud après fixation au liquide de Laguesse, les mitoplastes sont détruits et il ne reste que les microsomes teints en noir. De plus, dit-il, la fonction de ces microsomes est bien différente de celle des mitoplastes, puisque ceux-ci donnent naissance aux amyloplastes et aux chloroplastes, tandis que ceux-là, s'imprégnant de substance oléagineuse, se transforment parfois en véritables globules graisseux.

P. A Dangeard décrivit ensuite avec soin ces trois sortes de formations dans *Selaginella Kraussiana* (1). Dans les cellules du point de végétation, il observa un plastidome originairement formé d'un seul mitoplaste accolé au noyau et se colorant très nettement par l'hématoxyline ferrique. Ce mitoplaste bientôt se divisait et s'imprégnait de chlorophylle pour donner finalement 6 à 8 chloroplastes. Les mitoplastes se distinguaient des chloroplastes par une plus grande chromaticité. Le vacuome comprenait des métachromes ou vacuoles élémentaires qui se coloraient par des colorants vitaux et, après fixation, par les méthodes ordinaires. Les colorants vitaux faisaient apparaître dans ces vacuoles élémentaires un corpuscule métachromatique agité de mouvements browniens, qui se colorait en noir par l'hématoxyline ferrique, tout comme les mitoplastes. Ces vacuoles peu à peu

(1) C. R. Académie des Sciences, 9 février 1920.

se fusionnaient jusqu'à ne former qu'une seule grande vacuole remplie de métachromatine colloïdale qui précipitait par les colorants vitaux en nombreux corpuscules. Quant au sphérome, il était constitué par des microsomes ordinaires, peu nombreux, se colorant en noir par l'hématoxyline ferrique.

Ces trois systèmes distincts : plastidome, vacuome et sphérome, il les décrivit encore avec les mêmes caractères dans l'*Asparagus verticillatus* (C. R. Ac. des Sciences, 12 juil. 1920) et dans une algue *Scenedesmus acutus* (C. R. Ac. des Sciences, 31 janvier 1921).

Partageant les opinions de P. A. Dangeard sur la constitution et la distinction du vacuome, du plastidome et du sphérome, M. Pierre Dangeard a cherché de plus à déterminer l'origine du système vacuolaire.

D'après lui, le système vacuolaire proviendrait d'une hydratation des grains d'aleurone contenus dans la graine. « Dans l'épiderme de l'embryon de Pin, dit-il, l'appareil vacuolaire est représenté par de nombreux corpuscules arrondis qui sont des grains d'aleurone sans inclusions. Dès que la graine a été mise à germer, après 24 heures, ces grains commencent à changer de forme. Un peu plus tard, ils se sont allongés, puis soudés ensemble, et il en résulte un réseau unique et très délié dans la cellule. Ce réseau se gonfle, s'agglomère, prend de plus en plus d'importance et se transforme finalement en grosses vacuoles. Tous ces stades se relient et il y a continuité complète... » (1).

Mais ces grains d'aleurone, d'où viennent-ils ? D'après Pierre Dangeard, ils proviendraient eux-mêmes du système vacuolaire. Il a pu en effet observer dans l'albumen jeune du Ricin des cellules avec une grosse vacuole. Cette vacuole peu à peu diminuait en même temps que le suc cellulaire se concentrait. Puis la vacuole se morcelait donnant de petites vésicules ovales à contenu très épais. Enfin apparaissaient dans les vacuoles, des inclusions et un cristalloïde avec un ou deux globoïdes (2).

Le grain d'aleurone serait donc pour lui un des stades de

(1) C. R. Académie des Sciences, 18 avril 1921.
(2) C. R. Académie des Sciences, 7 novembre 1921.

l'évolution du système vacuolaire, à partir duquel pourrait se reformer un nouveau vacuome. Il fit les mêmes observations sur la graine de Ricin et des Graminées (1).

A cette conception qui battait en brèche sa propre manière de voir, qu'opposa Guilliermond ?

1° Guilliermond affirme tout d'abord que le vrai chondriome est distinct du système vacuolaire décrit par Dangeard et, en conséquence, que les observations de ce dernier n'ont nullement porté sur le chondriome.

Dans trois notes successives, l'une à la Société de Biologie (avril 1918) et les deux autres à l'Académie des Sciences (avril et mai 1918), il donne de cette affirmation les raisons suivantes :

A priori, la théorie de M. Dangeard soulève une grave objection ; on sait en effet que le chondriome n'est pas une formation transitoire, mais qu'il se présente sous forme d'élément constitutif de la cellule, persistant pendant toute la durée de la vie cellulaire. Or les éléments décrits par Dangeard sont au contraire des éléments transitoires, puisque dès le début du développement ils se transforment en grosses vacuoles.

A posteriori, du reste, les faits parlent aussi contre Dangeard car les bleus de Nil, de méthylène, de crésyl et le rouge neutre colorent le contenu des vacuoles, mais pas le chondriome. Inversement, le vert Janus, le violet de Dahlia ou le violet 5 B ne colorent pas les vacuoles, et colorent, bien que difficilement, le chondriome. Or, comme Dangeard n'a employé que le bleu de crésyl, il s'ensuit qu'il n'a jamais pu observer le vrai chondriome. De plus, les méthodes de Regaud et de Benda, qui colorent nettement le chondriome, n'atteignent pas les vacuoles.

Enfin, les fixateurs, comme l'alcool, insolubilisent la métachromatine, en la transformant parfois morphologiquement et dissolvent le chondriome au moins partiellement en le rendant méconnaissable.

Pour ces raisons, Guilliermond conclut « que le chondriome décrit par M Dangeard ne correspond pas, par son évolu-

(1) C. R. Académie des Sciences, 19 décembre 1921 et 30 janv. 1922.

tion, comme par ses caractères histo-chimiques, au chondriome. Il représente donc ou des éléments distincts des mitochondries, ou une partie du chondriome en voie de subir dans certaines cellules une évolution spéciale ».

Dans deux notes plus récentes (1) Guilliermond étudie la nature de ce système vacuolaire. Ses observations ont porté sur les cellules épidermiques de la feuille d'*Iris Germanica* et sur le méristème de la racine d'Orge. Il constate que dans les éléments très jeunes, il existe un système vacuolaire presque semblable morphologiquement au chondriome, mais s'en distinguant toutefois par son affinité considérable pour les colorants vitaux : rouge neutre et bleu de Nil par exemple. Une préparation traitée par l'un de ces colorants permet donc de voir le système vacuolaire ou vacuome formé de filaments colorés, et le chondriome véritable formé de

Différents stades du système vacuolaire.

D'après Dangeard
C. R. Ac. des Sc., 12 juillet 1920.

D'après Guilliermond
C. R. Ac. des Sc., 8 mars 1920.

filaments incolores. Les éléments filamenteux du système vacuolaire sont éphémères et se transforment bientôt en

(1) C. R. Académie des Sciences, 8 mars 1920 et Société de Biologie, 15 mars 1920.

vacuoles typiques, tandis que les éléments du chondriome persistent, évoluant de la manière déjà décrite.

Ainsi, pour Guilliermond, vacuome et chondriome se rapprocheraient par leurs caractères morphologiques, mais se distingueraient nettement par leurs caractères histochimiques et leur évolution.

Des observations faites sur *Eudomyces Magnesii* (1) soit à l'état vivant soit après coloration, lui font distinguer de la même façon, chez les champignons, système vacuolaire et chondriome. Ici, d'après ses observations, le système vacuolaire serait originairement composé par de petites vacuoles rondes ou légèrement ovales, qui, en grossissant et en se fusionnant, formeraient finalement de grosses vacuoles occupant une grande partie des filaments. Mais, à côté de ce système vacuolaire, il y aurait un chondriome formé de minces et longs chondriocontes rectilignes ou onduleux et par quelques mitochondries granuleuses. Les chondriocontes peuvent, dit-il, se gonfler et prendre la forme de boyaux ou bien produire sur leur trajet de petits renflements qui leur donnent la forme de fuseaux, d'haltères ou de têtards.

Le vacuome de Dangeard, bien que présentant à l'origine des formes rappelant de très près les formes mitochondriales, serait donc à distinguer très nettement, d'après Guilliermond, du véritable chondriome, car :

1) le vacuome fixe instantanément la plupart des colorants vitaux qui laissent incolores les mitochondries ;

2) le vacuome, sauf de rares exceptions, ne se conserve pas et ne se colore pas par les méthodes mitochondriales. Dans les cas très rares où il se colore, il se distingue toujours des mitochondries véritables par la présence d'une zone hyaline autour de ses éléments ;

3) le vacuome n'existe sous forme mitochondriale que durant une phase très limitée de la vie cellulaire (2).

D'après les derniers travaux de Guilliermond et de Mangenot (C. R. Ac. des Sciences, 13 févr. et 6 mars 1922) le vacuome serait à rapprocher des canalicules de Holmgren et de l'appareil réticulaire de Golgi.

(1) Société de Biologie, 15 mars 1920.
(2) Société de Biologie, 13 juin 1921.

2° Guilliermond soutient de plus que la substance décrite par Dangeard dans les végétaux supérieurs sous le nom de métachromatine, ne peut être assimilée à la métachromatine des champignons.

Observant le *Pelargonium*, il constate en effet dans les cellules épidermiques de cette fleur, l'existence de vacuoles contenant, même à l'état vivant, des corpuscules très réfringents. Si l'on fait agir alors sur la préparation le rouge neutre, on remarque que le contenu de la vacuole prend une teinte rouge diffuse et que les corpuscules, eux, se colorent en rouge foncé. Puis, on voit se former au sein de la vacuole, par une sorte de précipitation, de nouveaux corpuscules. « Il existe donc, dit Guilliermond, dans la vacuole une substance en partie à l'état de solution, et susceptible de précipiter sous l'influence de certains réactifs comme l'a mis en évidence M. Dangeard » (1).

Mais cette substance qu'est-elle? Est-ce de la métachromatine, comme celle que l'on trouve chez les champignons ?

Nullement, dit Guilliermond, car cette substance est soluble dans l'alcool, alors que la métachromatine y est insoluble. De plus, cette substance une fois fixée par les réactifs chromo-osmiques ou le formol, ne présente aucune réaction métachromatique avec les teintures basiques bleues ou violettes d'aniline. Par contre, elle présente nettement les réactions des composés phénoliques voisins de l'anthocyane (précipité jaune par la liqueur de Courtonne).

Cette substance se distinguant donc de la métachromatine par l'ensemble de ses caractères micro-chimiques, n'ayant de commun avec elle que la propriété de fixer énergiquement les colorants vitaux, propriété qu'elle partage du reste avec beaucoup d'autres corps de natures très diverses, ne serait pas, au dire de Guilliermond, de la métachromatine, mais serait constituée dans beaucoup de cas par des protéines solubles dans l'alcool, auxquelles s'ajouteraient très souvent des composés phénoliques (2).

3° Quant aux microsomes, constituant ce que Dangeard

(1) C. R. Académie des Sciences, 10 juin 1918.

(2) C. R. Académie des Sciences, 8 mars 1920 et Société de Biologie, 28 nov. 1921.

appelle le sphérome, et que l'on aurait, d'après lui, englobés parfois, mais à tort, dans le chondriome, Guilliermond ne conteste pas leur existence, mais soutient qu'ils ne peuvent être en aucune manière confondus avec les mitochondries granuleuses. A son sens, les microsomes se distingueraient des mitochondries par leur réfringence plus forte, par leurs dimensions plus petites et leurs déplacements plus rapides. Après fixation et coloration par la méthode de Regaud qui teint en noir le chondriome, les microsomes demeureraient incolores ; pour les mettre en évidence, il faudrait traiter la préparation par le Soudan ou le Scarlach. Après fixation par la méthode de Benda et coloration par la fuchsine acide, le chondrione serait teint en rouge et les microsomes en brun.

Les microsomes sont donc, d'après Guilliermond, distincts des mitochondries ; ils ne seraient, dit-il, que de simples gouttelettes, probablement de nature lipoïde, produits du métabolisme cellulaire (1). C'est ce que refuse nettement d'admettre P. A. Dangeard.(C. R. Ac. des Sciences, 28 nov. 1921.)

4° Pour Dangeard, enfin, nous l'avons vu plus haut, ni les corpuscules métachromatiques, ni l'anthocyane ne seraient produits par les mitochondries, mais les corpuscules métachromatiques proviendraient de la précipitation de la métachromatine en solution dans les vacuoles, et l'anthocyane s'accumulerait au sein des vacuoles, grâce au pouvoir osmotique spécial de la métachromatine.

Sur ces deux points, Guilliermond semble être aujourd'hui d'accord avec Dangeard.

Il admet en effet que les formes mitochondriales qu'il avait prises jadis pour des chondriocontes élaborant de l'anthocyane ne sont que des figures passagères du système vacuolaire absolument distinct du véritable chondriome (2).

Quant aux corpuscules métachromatiques des champignons, il les considère aujourd'hui comme résultant d'une condensation de la métachromatine liquide contenue dans les vacuoles, condensation pouvant se faire sous des influences

(1) C. R. Académie des Sciences, 27 juin 1921 et 8 mars 1920.
(2) Société de Biologie, 28 nov. 1921.

diverses : fixateurs, colorants, variation dans l'acidité du suc cellulaire, etc... (1).

Comme il admet d'autre part la distinction radicale entre le système vacuolaire et le chondriome, il en résulterait que les corpuscules métachromatiques seraient d'origine vacuolaire et non pas mitochondriale, comme il l'avait cru tout d'abord.

Pour Guilliermond enfin, comme pour Pierre Dangeard, ces vacuoles, constitutives du système vacuolaire, proviendraient de l'hydratation des grains d'aleurone contenus dans la graine et les grains d'aleurone eux-mêmes résulteraient de la déshydratation des vacuoles de la plante-mère (Soc. de Biologie, 28 nov. 1921).

3. Nous ne pouvons terminer ce travail sans dire un mot de la très curieuse interprétation donnée par M. Pottier aux mitochondries.

Dans un livre intitulé *Les symbiotes*, M. Pottier identifie mitochondries et symbiotes : « Chaque cellule vivante, dit-il, renferme dans son protoplasme des formations que les histologistes désignent sous le nom de « mitochondries ». Ces organites ne seraient pour moi autre chose que des bactéries symbiotiques, ce que je nomme des symbiotes » *(Préf.)*.

Il ne nous appartient pas de discuter ici la théorie symbiotique de M. Pottier ; qui voudrait en lire la critique, pourrait consulter l'ouvrage de M. Lumière, *Le mythe des symbiotes*. Indiquons seulement ici les caractères qui, d'après Guilliermond et Regaud, distinguent mitochondries et symbiotes et ne permettent pas de les identifier. Ces caractères sont la consistance molle des mitochondries, leur extrême malléabilité et altérabilité, caractères complètement opposés à ceux des bactéries qui sont des organites consistants, difficilement déformables et relativement résistants aux agents chimiques et physiques. Et Guilliermond conclut : « aucun rapprochement entre les mitochondries et les bactéries symbiotes n'est justifié, et l'on n'a aucune raison actuellement de considérer les mitochondries autrement que comme des organites constituants du cytoplasme » (2).

(1) Société de Biologie, 6 mars 1920.
(2) Société de Biologie, 29 mars 1919.

VII — Conclusion

En terminant, résumons brièvement les différentes manières de concevoir aujourd'hui les éléments figurés du cytoplasme végétal, telles que ce travail nous les montre.

Pour Guilliermond, appuyé en cela par les travaux de Beauverie, Cowdry, Moreau, Emberger, Mangenot, etc..., toute cellule végétale posséderait un chondriome nettement constitué, comprenant deux variétés distinctes de mitochondries, semblables originairement par leur forme et ne se distinguant guère que par leur évolution : une variété, dont le rôle est inconnu, resterait toujours mitochondries et ne prendrait aucune part, du moins apparente, au travail élaborateur ; l'autre variété au contraire évoluerait toujours en plastes, donnant les amyloplastes, les chloroplastes et les chromoplastes. Ces plastes, dérivés des mitochondries, élaboreraient des grains d'amidon, des globules graisseux, du glycogène, et les pigments chlorophylliens, carotiniens et xanthophylliens. A côté de ce chondriome existerait un système vacuolaire, présentant bien à l'origine l'aspect mitochondrial, mais sans aucune relation avec les mitochondries : ce système vacuolaire contiendrait chez les champignons de la métachromatine en solution qui, par précipitation, donnerait naissance aux corpuscules métachromatiques ; chez les végétaux supérieurs, au contraire, il ne contiendrait pas de métachromatine, mais une substance voisine des phénols. Corpuscules métachromatiques et pigments anthocyaniques seraient donc d'origine vacuolaire et non pas mitochondriale. Distincts, et du système vacuolaire et du chondriome, existeraient encore dans la cellule de petits corpuscules de nature lipoïde et résultant probablement du métabolisme cellulaire.

Pour d'autres, comme Mottier, Rudolph, Scherrer et Sapehin, il y aurait bien dans toute cellule végétale un chondriome, mais un chondriome formé de mitochondries incapables de se transformer en plastes. Aussi de ce chondriome faudrait-il, d'après eux, soigneusement distinguer les plastides produisant les plastes.

Pour Dangeard enfin, il n'y aurait pas, semble-t-il, dans la cellule végétale de chondriome analogue à celui que l'on

trouve dans la cellule animale. Le cytoplasme des végétaux comprendrait d'après lui trois sortes de formations : le vacuome, le plastidome et le sphérome complètement diffétents entre eux par leur origine, leur nature et leur fonction.

Le vacuome ou système vacuolaire, présentant à l'origine des formes mitochondriales, évoluerait en vacuoles types et contiendrait chez toutes les plantes de la métachromatine en solution, pouvant se précipiter sous forme de corpuscules. Il donnerait naissance aux corpuscules métachromatiques et aux pigments anthocyaniques.

Le plastidome comprenant les mitoplastes donnerait en se développant les différents plastes : leucoplastes, chloroplastes et chromoplastes.

Le sphérome enfin serait formé de microsomes, semblables par la forme et la taille aux mitochondries granuleuses, et possédant toujours un substratum protéique.

A. Grandsire.

14 Mai 1922.

BIBLIOGRAPHIE

I. — Leçons sur le problème de Pfaff, par Édouard Goursat, membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.— Un vol. gr. in-8°, de 386 pages.— Paris, Hermann, 1922.

Leçons sur les invariants intégraux, par E. Cartan, professeur à la Faculté des Sciences de Paris.— Un vol. gr. in-8°, de 210 pages. — Paris, Hermann, 1922.

Ces deux ouvrages, reproduisant les très savantes leçons faites à la Faculté des Sciences de Paris par deux maîtres éminents, traitent de sujets entre lesquels existe une si intime corrélation qu'il nous a paru opportun de les réunir dans une commune analyse.

Une équation de Pfaff est, comme on sait, constituée par une forme linéaire de différentielles d'un nombre quelconque n de variables, égalée à zéro. Elle a pour solutions toutes les multiplicités de l'espace à n dimensions, défini par ces variables prises pour coordonnées, le long desquelles cette équation est vérifiée. On peut donc regarder une équation de Pfaff comme une sorte de généralisation d'une équation aux différentielles totales. Il était donc tout naturel que M. Goursat consacrât à l'étude de telles équations un chapitre de ses célèbres *Leçons sur les équations aux dérivées partielles du premier ordre*. Mais, depuis qu'a paru la première édition, aujourd'hui épuisée, de cet ouvrage, le sujet a reçu des développements considérables de la part de divers géomètres parmi lesquels, à côté de M. Goursat lui-même, il convient de citer tout particulièrement M. Cartan. Ces géomètres ont trouvé avantage à se servir du langage et des procédés auxquels conduit la considération des équations de

Pfaff pour étudier et faire progresser les problèmes du calcul intégral. On peut, entre autres, rattacher à ce point de vue les résultats relatifs au problème (si étudié au moyen d'autres procédés, notamment par MM. Riquier, Delassus, Drach, Maurice Janet) qui consiste à déterminer la nature et, en quelque sorte, le nombre des solutions d'un système donné d'équations différentielles.

En préparant une nouvelle édition de l'ouvrage qu'on vient de rappeler, M. Goursat s'est proposé de donner un exposé systématique des procédés rencontrés dans cette voie nouvelle et des résultats qu'ils ont permis d'obtenir ; mais un tel exposé s'est trouvé tellement déborder le cadre d'un simple chapitre que l'auteur a été conduit à lui consacrer le volume à part qui vient de paraître.

Cet ouvrage ne suppose de la part du lecteur que la connaissance « des théorèmes classiques sur les systèmes complètement intégrables d'équations aux différentielles totales, théorèmes qui sont exposés dans tous les Traités d'analyse ».

Ainsi que l'auteur le fait ressortir dans sa Préface, les huit chapitres dont se compose l'ouvrage peuvent être répartis en trois groupes : « Les deux premiers chapitres sont consacrés au problème de Pfaff proprement dit » ; l'auteur y « expose les méthodes fondées sur les propriétés du covariant bilinéaire considéré d'abord par Frobenius et par G. Darboux ».

Dans les trois chapitres suivants, l'auteur « étudie les propriétés des formes symboliques de différentielles (formes *extérieures* de M. Cartan) et leur application au problème de Pfaff lui-même et à la théorie des invariants intégraux ».

Enfin, dans les trois derniers chapitres, l'auteur fait connaître « quelques-uns des progrès les plus récents acquis à la science, relatifs aux systèmes de Pfaff », progrès dont les plus importants sont dus à M. Cartan et font, en grande partie, l'objet de l'ouvrage dont il va être maintenant question.

Est-il bien utile d'ajouter que ce nouveau livre de M. Goursat est écrit avec le soin, la rigueur et la clarté que l'on retrouve dans toutes les productions de ce savant géomètre, et qui l'ont depuis longtemps classé comme un des premiers maîtres de l'art didactique dans l'ordre des hautes mathématiques ?

Quant au livre de M. Cartan, la conception même en est assez nouvelle. La théorie des invariants intégraux, fondée, comme on sait, par Poincaré et exposée par lui dans ses *Méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*, avait jusqu'ici l'apparence de former un domaine un peu à part des mathématiques, se suffisant presque à lui-même. M. Cartan a habilement réussi à la présenter comme une partie d'une synthèse beaucoup plus vaste embrassant, en même temps que la théorie des formes différentielles invariantes, celle des équations de Pfaff, des équations canoniques, des équations aux dérivées partielles du premier ordre, des équations différentielles admettant des transformations infinitésimales, etc...., toutes ces théories s'éclairant mutuellement. On sait l'importance et la fécondité qu'offrent de tels rapprochements dans le domaine des mathématiques.

Pour parvenir à réaliser cette synthèse, M. Cartan a dû étendre la notion primitive d'invariant intégral à des ensembles d'états non nécessairement simultanés. On avait, il est vrai, déjà remarqué, mais de façon tout à fait incidente, la propriété d'après laquelle une forme différentielle susceptible de s'exprimer au moyen des seules intégrales premières, d'un système d'équations différentielles données, et des différentielles de ces intégrales premières, constitue un élément d'invariant intégral au sens de Poincaré ; mais c'est M. Cartan qui, le premier, a su discerner la réciproque, c'est-à-dire établir le passage d'un invariant intégral de Poincaré à la forme différentielle invariante complète correspondante, et ç'a été là une acquisition de vaste conséquence. M. Goursat a, il est vrai, montré récemment (C. R. DE L'AC. DES SC. du 24 avril 1922) qu'un tel passage peut être regardé comme résultant de deux opérations indiquées par Poincaré et par lui-même ; mais jamais personne n'avait songé à recourir à ces deux opérations et à donner comme base à la théorie la notion de forme invariante ; le mérite de M. Cartan à cet égard ne s'en trouve donc nullement entamé.

Sans entrer ici, à propos de l'analyse de cet ouvrage, dans des détails qui ne seraient à leur place que dans un recueil purement mathématique, nous signalerons rapidement quelques points où s'affirme plus particulièrement la contribution personnelle de l'auteur.

A ce point de vue, une mention spéciale est due au théorème général donné au chapitre IV, relativement au système caractéristique d'une forme différentielle, qui permet ensuite de faire en quelques lignes la théorie des expressions de Pfaff (Chap. XII) et de l'équation de Pfaff (Chap. XIV).

Le chapitre IX, où sont étudiés les systèmes différentiels qui admettent une transformation infinitésimale, mérite aussi une mention spéciale, particulièrement en ce qui concerne la formation d'intégraux en partant de transformations infinitésimales au moyen d'une opération, qui en comprend, comme cas particulier, une autre déjà signalée, notamment par M. Goursat, lorsque le temps n'entre pas explicitement dans les équations. On y remarque aussi une manière ingénieuse d'obtenir les intégrales premières classiques du problème des trois corps, en partant de la simple remarque que ce problème admet les transformations du groupe de Galilée, et aussi l'invariant intégral ω_{10} de Poincaré en ne faisant intervenir que des considérations d'homogénéité.

Il est très intéressant de voir, au chapitre XIV, comment les différentes méthodes classiques d'intégration des équations aux dérivées partielles du premier ordre (Cauchy, Lagrange, Jacobi) peuvent être rattachées au point de vue nouveau développé dans l'ouvrage. On rencontre, au même chapitre, un important théorème d'après lequel la connaissance de deux intégrales premières, non en involution, des caractéristiques d'une équation aux dérivées partielles du premier ordre entraîne, pour ces équations caractéristiques, la connaissance d'un invariant intégral linéaire.

Parmi les parties les plus originales du livre, on peut encore citer le chapitre XV relatif aux équations différentielles qui admettent plusieurs invariants intégraux linéaires, où se rencontre l'esquisse d'une méthode générale applicable à un système quelconque d'équations différentielles admettant des formes invariantes, des équations de Pfaff invariantes etc., et aussi, le chapitre XVI qui contient une exposition nouvelle de la théorie des équations différentielles admettant des transformations infinitésimales données, avec application remarquable à divers exemples classiques.

Au chapitre XVII où application est faite des théories précédentes au problème des n corps, l'introduction d'un

invariant intégral judicieusement choisi permet de former immédiatement, et sous forme canonique, les équations différentielles du problème des trois corps, ceux-ci étant rapportés à un système de référence mobile quelconque, ce qui a pour effet d'éliminer les particularités accessoires qui ne se conservent pas par un changement du système de référence. Quand les constantes des aires et celle des forces vives sont nulles, l'auteur effectue la réduction du problème à l'intégration d'une équation aux dérivées partielles de premier ordre à une fonction inconnue z de x et y.

Le point de vue mécanique joue, dans tout le livre de M. Cartan, un rôle important.

En introduisant la notion de tenseur « quantité de mouvement-énergie », rattachée à un certain invariant intégral, M. Cartan place à la base de la mécanique certain principe dit de la « conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie » qui, plus abstrait et moins intuitif que celui de la moindre action d'Hamilton, possède toutefois l'avantage du repérage adopté pour l'Univers (c'est-à-dire à la fois pour l'espace et pour le temps), ce qui, comme le fait remarquer l'auteur, conduit à « un schéma auquel doivent se subordonner toutes les théories mécaniques, et auquel, en effet, se subordonne la mécanique relativiste elle-même ».

Il est très remarquable que, d'un bout à l'autre de son exposé théorique, l'auteur a recours à la théorie des tourbillons comme à une sorte de réactif pour illustrer les théorèmes généraux d'analyse qu'il établit.

Il fait d'ailleurs montre, d'une façon constante, du soin d'affirmer l'utilité de la considération des formes différentielles faisant intervenir dt aussi bien que dx, dy, dz, et il s'efforce de faire partout ressortir l'intérêt physique, aussi bien que mathématique, qu'il y a à ne pas faire jouer à la variable indépendante un rôle différent de celui des variables dépendantes. Le dernier chapitre, sur le principe de Fermat et l'équation de Pfaff invariante de l'optique, mérite, à cet égard, une mention spéciale.

Ce bel ouvrage de M. Cartan se distingue par une richesse dans l'invention, une originalité dans les développements dont on ne peut manquer d'être frappé au fur et à mesure que l'on en poursuit la lecture.

Évidemment, ceux qu'intéresse particulièrement cette partie de la science ne sauraient séparer l'étude du livre de M. Cartan de celle du livre de M. Goursat ; on peut dire qu'ils se complètent l'un l'autre, celui de M. Goursat étant plus strictement analytique, celui de M. Cartan plus intuitif, en raison de ses retours à la géométrie et, plutôt encore, à la mécanique. Cette diversité de caractère ne peut, au reste, être qu'éminemment profitable à l'étudiant qui se nourrira de la substance de l'un et de l'autre.

M. O.

INTRODUCTION A LA GÉOMÉTRIE NON-EUCLIDIENNE, par A. MAC LEOD, docteur en Sciences physiques et mathématiques.— Un vol. in-8° de 433 pagés.—Paris, Hermann, 1922.

Bien que l'auteur de ce livre porte un nom d'apparence irlandaise et que l'éditeur en soit parisien, c'est bel et bien d'une œuvre belge qu'il s'agit ici, œuvre élaborée sous les auspices de M. Mittag-Leffler et à l'aide des ressources uniques de la bibliothèque de cet éminent géomètre, par lui si généreusement mises à la disposition de tous les travailleurs mathématiques.

On sait assez généralement aujourd'hui, même en dehors des spécialistes de la géométrie, ce qu'il faut entendre par « géométrie non-euclidienne », géométrie affranchie du postulat d'Euclide, relatif aux parallèles ; mais, peut-être, n'a-t-on pas toujours une idée suffisamment exacte de la nature des postulats qui se rencontrent à la base de la géométrie et que M. Hilbert a su magistralement dégager dans ses profondes *Grundlagen der Geometrie*. L'auteur a cru très opportunément devoir reprendre, dans un premier chapitre, un exposé succinct du système des concepts fondamentaux et des postulats de la géométrie classique ou euclidienne : postulats, c'est-à-dire propositions regardées comme évidentes, résultant d'idées innées et, par suite, non démontrables, Ces postulats sont au nombre de cinq, nous nous contenterons d'en rappeler les noms : appartenance, ordre, congruence, parallèles (Euclide), continuité (Dedekind). Il ne suffit évidemment pas, pour que de telles propositions soient reçues comme système fondamental de postulats, qu'elles soient regardées inviduellement comme indémontrables ; il faut encore

qu'elles ne soient pas contradictoires entre elles ; c'est ce que, pour les postulats précédents, qui, nous le répétons, sont ceux de la géométrie classique, l'auteur fait voir *a priori* avec une grande clarté.

Si l'on se place à un point de vue purement abstrait, on conçoit que l'on puisse se proposer, en partant d'un système de postulats arbitraires, mais non contradictoires, d'en tirer par voie strictement déductive un ensemble de propositions constituant une géométrie spéciale autre que la géométrie classique, c'est-à-dire non euclidienne.

Il ne semble pas évident *a priori* que la chose soit possible, et l'on a même pu croire pendant longtemps qu'elle ne l'était pas et que l'admission des postulats de la géométrie classique avait un caractère de nécessité tel que leur abandon devait fatalement conduire à des conséquences contradictoires. A la vérité, c'était seulement, parmi ces postulats, celui des parallèles, auquel est resté attaché le nom d'Euclide, qui ne semblait pas pourvu d'une évidence intuitive absolument infaillible, et innombrables ont été, peut-on dire, les tentatives faites en vue de le démontrer. Combien de chercheurs n'ont-ils pas cru même y être parvenus ! Mais un examen plus approfondi de leurs essais finissait toujours par y faire découvrir l'admission *a priori* de quelque autre proposition constituant en fait un postulat équivalent.

D'autres chercheurs, plus savants et plus avisés, se sont efforcés non de démontrer le postulat d'Euclide, mais de reconnaître si sa non-admission pouvait entraîner à établir des propositions contradictoires ; c'est dans ce sens qu'ont été poursuivies certaines recherches de Saccheri, de Lambert, de Legendre ; mais leurs déductions poussées assez loin n'ont jamais abouti à faire apparaître de ces contradictions auxquelles on avait tendance à s'attendre.

Ces résultats négatifs ont peu à peu fait naître l'idée qu'il pouvait exister des géométries qui, affranchies de ce postulat, restaient susceptibles d'être indéfiniment développées, à l'exemple de la géométrie classique, en demeurant rigoureusement exemptes de toute contradiction. Cette idée s'était présentée nettement, dès 1816, à Gauss qui n'avait pas cru néanmoins devoir en faire l'objet d'aucune publication. Elle a jailli spontanément aussi chez d'autres géo-

mètres qui ont jugé à propos de la creuser dans des travaux de longue haleine ; tel a été le cas de Lobatchevsky et de Bolyaï qui l'ont développée en supposant la droite indéfinie, comme en géométrie euclidienne, et, d'autre part, celui de Riemann, dans le cas de la droite se refermant, en quelque sorte, sur elle-même, comme fait le grand cercle dans la géométrie sphérique classique. M. Mac Leod expose toute cette genèse d'une façon extrêmement intéressante avant d'aborder l'étude de ce qu'il appelle la « géométrie générale » embrassant à la fois, outre la géométrie d'Euclide, ou parabolique, celle de Lobatchevsky et Bolyaï, dite hyperbolique, et celle de Riemann, dite elliptique. Il doit, pour en établir le fondement, en définir avec précision le système de postulats, qui diffère de celui de la géométrie classique, non seulement par l'abandon du postulat d'Euclide, mais encore par quelques modifications de détail dans l'énoncé de plusieurs autres, toujours pourvus, cela va sans dire, du caractère de non-contradiction.

C'est avec une impeccable rigueur qu'à partir de là l'auteur développe toutes les conséquences dont l'ensemble constitue la géométrie générale. Il déclare s'être inspiré, dans l'élaboration de ce travail, au moins en ce qui concerne son plan, des *Elements of non-euclidian geometry* de J. L. Coolidge, parus en 1919 ; mais, outre qu'il s'est donné plus d'espace pour traiter, avec tous les détails nécessaires, un sujet qui ne laisse pas, malgré son apparence élémentaire, d'être très difficile, il s'est appliqué, en outre, à doter tous ses raisonnements d'une rigueur qui échappe à toute critique.

Nous ne craignons pas de le répéter : ce sont là choses difficiles. Il n'est pas bien aisé, en effet, et pourtant c'est indispensable, lorsqu'on aborde de telles matières, de faire abstraction de toutes les habitudes d'esprit acquises, de renoncer à l'usage, si précieux et si fécond sur le terrain classique, du sens de l'intuition développé en nous par l'exercice normal du procédé euclidien.

Quel effort ne faut-il pas, par exemple, à un esprit formé à une telle discipline pour se rendre compte de la nécessité d'une démonstration quand il s'agit d'une proposition telle que celle-ci : si trois semi-droites, issues d'un même point, sont situées du même côté d'une droite passant par ce point,

une et une seule de ces trois semi-droites est située entre les deux autres (*l. c.*, p. 41) ?

C'est que l'étude de la géométrie euclidienne a fixé dans notre esprit certaines images dont l'évocation, en quelque sorte, instinctive, produit en nous une évidence qui fait apparaître à nos yeux comme absolument surérogatoire, tout essai de démonstration.

En géométrie non-euclidienne, toute simplification du raisonnement tenant à l'intuition que peut éveiller en nous la claire vision d'une figure est strictement prohibée. Seul, l'enchaînement rigoureux des idées, sans le moindre hiatus correspondant à l'intervention passagère d'une évidence intuitive, peut conduire aux conclusions recherchées. Si d'aventure, pour soulager quelque peu l'effort cérébral, on se laisse aller, comme l'auteur le fait en de très rares passages, à jeter les yeux sur une figure construite suivant le mode euclidien, cette figure ne doit être regardée que comme une représentation étrangère au sens du raisonnement et contre l'influence possible de laquelle on doit se tenir en garde au point de vue philosophique (*l. c.*, p. 99, en note).

Peut- être ce qui précède suffira-t-il à faire naître quelque idée de l'esprit dans lequel est conçu l'ouvrage de M. Mac Leod, et du soin extrême qu'a pris son auteur de lui imprimer le caractère de rigueur le plus absolu.

A la suite des généralités sur la philosophie et l'historique du sujet, qui viennent d'être résumées, et qui fournissent la matière des deux premiers chapitres, l'auteur entre dans les développements mathématiques qu'il comporte, abordant successivement, dans les quatre chapitres suivants, les théorèmes élémentaires fondamentaux, pour l'exposé desquels il s'inspire largement des travaux d'Hilbert, la question si délicate de la mesure des segments et des angles, les théorèmes sur la continuité, les transformations congruentes.

Il en arrive à la question capitale de la somme des mesures des angles d'un triangle, en laquelle réside le caractère essentiel de chaque cas particulier de la géométrie générale. Faisant correspondre aux cas où cette somme est inférieure, égale ou supérieure à π les termes d'hypothèses de l'angle aigu, de l'angle droit ou de l'angle obtus, il fait voir d'abord que si, avec un certain système de postulats, cette hypothèse

est vérifiée pour un triangle, elle l'est pour tous. Cela fait, il s'agit de reconnaître si chacune de ces hypothèses est compatible avec les postulats de la géométrie générale, de façon à réaliser l'une ou l'autre de ces hypothèses par une particularisation convenable introduite parmi ces postulats.

L'auteur commence par le faire pour l'hypothèse de l'angle droit à laquelle correspond la géométrie euclidienne. Pour les deux autres hypothèses, la question est bien plus difficile à résoudre ; l'auteur y parvient par des voies qui ne manquent pas d'originalité.

En ce qui concerne l'hypothèse de l'angle aigu, M. Mac Leod s'appuie sur certaines notions de géométrie projective considérée comme une branche de la géométrie euclidienne dont, à titre de prolégomènes, il donne, sous forme condensée, un exposé substantiel, en s'inspirant, comme il le déclare, du cours de géométrie analytique professé à l'Université de Gand par M. Servais. Les notions ainsi acquises conduisent à établir les propriétés de certaines transformations laissant invariant un ellipsoïde réel, d'où l'auteur déduit très habilement que l'hypothèse de l'angle aigu est compatible avec la géométrie euclidienne, à l'exclusion du postulat des parallèles.

C'est de même en utilisant certaines transformations projectives qui laissent invariant un ellipsoïde, imaginaire cette fois, que l'auteur établit la compatibilité sous certaines conditions, de l'hypothèse de l'angle obtus avec les postulats de la géométrie générale. Mais, pour établir les propriétés de ces transformations, c'est à un tout autre ordre d'idées qu'a recours M. Mac Leod ; il l'emprunte à une étude des notions fondamentales de la géométrie à n dimensions, très heureusement résumée d'après les leçons consacrées à ce sujet par M. Wasteels dans son Cours de mécanique céleste de l'Université de Gand.

La profonde diversité des moyens de démonstration applicables, d'une part, à l'hypothèse de l'angle aigu, de l'autre, à celle de l'angle obtus, met assez en évidence l'extrême difficulté du sujet, dont l'auteur triomphe avec une remarquable habileté.

Après avoir montré comment chaque cas particulier de la géométrie générale est caractérisé par une constante,

inverse de la racine carrée de ce qu'on appelle la courbure de l'espace pour cette géométrie particulière, l'auteur établit les relations fondamentales de la trigonométrie et les principales notions de géométrie analytique quand on se place au point de vue de la géométrie générale.

Dans un dernier chapitre, M. Mac Leod étudie les espaces complets des diverses géométries. Voici ce qu'il faut entendre par là : ainsi que l'auteur en fait lui-même la remarque, les postulats de la géométrie générale laissent subsister une indétermination relativement à la question de savoir de combien un segment peut être prolongé. M. Mac Leod s'est proposé de faire disparaître cette indétermination en modifiant le système des postulats de la géométrie générale grâce à un emprunt fait au postulat dit de la congruence en géométrie euclidienne. Dans l'hypothèse de l'angle aigu la difficulté est relativement modérée et il se trouve que la géométrie ainsi édifiée, dite hyperbolique, est identique à celle construite par Lobatchevsky. L'hypothèse de l'angle droit donne de même naissance à la géométrie parabolique, identique à la géométrie euclidienne. Dans le cas de l'hypothèse de l'angle aigu, la difficulté est beaucoup plus grande, la modification des postulats requise étant bien autrement profonde ; l'auteur réussit néanmoins encore à en triompher pour aboutir à la géométrie elliptique, identique à celle de Riemann ; mais, comme elle s'écarte davantage de la géométrie euclidienne que celle de Lobatchevsky, M. Mac Leod entre à son sujet dans des développements de plus grande ampleur. Ce morceau, où s'affirme plus particulièrement sa contribution personnelle, lui fait le plus grand honneur.

Un tel ouvrage mérite toute l'attention et toute l'estime des géomètres ; mais il convient de ne pas se méprendre sur son véritable caractère ; la nature plutôt élémentaire des matières auxquelles il se rapporte ne doit pas donner le change sur le rang où il doit venir se placer ; seuls, des géomètres rompus à toutes les subtilités de la théorie la plus avancée peuvent être en état d'en saisir le sens. L'exacte concordance des conséquences tirées de la géométrie euclidienne avec les faits, dans toutes les occasions où il nous est donné de contrôler leur adaptation à l'étude des réalités physiques tombant sous nos sens, confère pour nous à cette

géométrie un caractère de nécessité qu'il serait éminemment inopportun d'entamer si peu que ce soit aux yeux non seulement des débutants mais de quiconque envisage surtout la science du point de vue de ses applications ; cela dit, pour bien préciser notre pensée, nous ne saurions trop recommander à ceux qu'attire la haute philosophie de la science la lecture du beau livre de M. Mac Leod.

M. O.

II. — Introduction au calcul tensoriel et au calcul différentiel absolu, par G. Juvet, professeur à l'Université de Neuchâtel. Préface de M. J. Hadamard. — Un vol. de 101 pages (26 × 17). — Paris, Blanchard, 1922. Prix : 12 fr.

Le directeur de la « Collection de monographies scientifiques étrangères » publiée par la maison Blanchard ajoute au mérite de sa traduction des *Leçons sur la théorie de la relativité générale*, de H. Weyl, celui d'offrir dans le présent ouvrage une initiation aux méthodes mathématiques de la relativité. Son but est de guider le lecteur pour le rendre « capable de lire ensuite avec profit les mémoires et les traités dont l'objet est la physique einsteinienne ». Évidemment l'auteur suppose la curiosité déjà excitée par la lecture de livres tels que celui de Weyl ou celui d'Eddington ; le titre, purement mathématique, de son travail éveillerait-il d'ailleurs l'attention de qui n'aurait pas déjà été aux prises avec la manipulation d'indices caractéristique du calcul nouveau ?

En fait de définitions et de théorèmes, il n'y a ici guère plus que dans les chapitres mathématiques de Weyl et d'Eddington ; mais l'exposé, si abstrait, de ces théories est illustré par des applications géométriques plus concrètes.

Le volume comprend en appendice une bibliographie systématique des mémoires essentiels relatifs au calcul tensoriel et au calcul différentiel absolu. Pour les travaux sur les théories d'Einstein, on y renvoie à la bibliographie que donne Weyl dans son ouvrage *Temps, Espace, Matière*.

H. D.

III. — Histoire de l'Astronomie, par E. Doublet, Astronome à l'Observatoire de Bordeaux. — Un vol. de l'*Encyclopédie Scientifique* (Bibliothèque d'Astronomie et de Physique céleste). In-12 de 572 pages. — Paris, G. Doin, 1922. — Prix : 17 fr.

Il est certain que nous manquions d'un bon précis de l'Histoire de l'Astronomie, à la fois assez concis et assez documenté. Je pense que nous sommes bien près de l'avoir aujourd'hui, et qu'une nouvelle édition du même ouvrage pourra nous le donner tout à fait. C'est dire toutes les qualités du livre de M. Doublet, et il serait peu utile d'en faire l'énumération ; mais il y a là une petite restriction qu'il me faut justifier.

C'est que cette *Histoire de l'Astronomie* ne répond pas entièrement à son titre. N'est-ce pas plutôt une Histoire des Astronomes ? Je ne conteste pas du tout que cette histoire des astronomes soit fort bien faite et fort intéressante, et fort agréable à lire. Je n'aperçois rien à en retrancher, mais je voudrais y voir, de plus, le tableau de l'évolution des *méthodes* utilisées en Astronomie. C'est en cela, me semble-t-il, que devrait consister surtout une Histoire de l'Astronomie. Ce n'est pas, bien entendu, que ce livre ne renferme rien de semblable, et telle page, dans un beau raccourci, réalise très bien cet objet ; mais de pareilles pages sont trop peu nombreuses, et le lecteur ne sent pas que tel ait été, systématiquement, le programme de l'auteur.

Une originalité et un bon exemple : le premier chapitre est consacré aux *Historiens de l'Astronomie*, Weidler, Bailly, Lalande, Delambre, Montucla, Bossut, Biot, P. Tannery, Duhem (1).

Certes, ce sont de grands noms, mais tout le monde trouvera-t-il la liste suffisante ? En Belgique, je crois bien qu'on réclamera Houzeau : sa Bibliographie astronomique valait bien, dira-t-on, quelques lignes.

(1) A propos de Duhem et de son grand ouvrage sur le *Système du Monde*, on lit : « Des douze volumes dont l'ouvrage devait se composer, on espère que huit pourront être publiés ; déjà le cinquième a paru ».

Dix-huit chapitres suivent ce premier, généralement par tranches chronologiques, à l'exception de quelques chapitres, les mieux réussis, groupant toutes les recherches relatives à un même objet : Théorie des marées, Astronomie nautique, Attraction universelle, Mesure de la Terre... Pour donner une idée du développement de cette Histoire, je transcris le sommaire du chapitre intitulé *Astronomie latine au Moyen Age :* Isidore de Séville, Rhaban-Maur, Érigène, Macrobe, Martianus Capella, Bède le Vénérable, Gérard de Crémone, les Ibn-Tiddon, Albert le Grand, Vincent de Beauvais, Thomas d'Aquin, Sacro Bosco, Jean de Sicile, Guillaume de Saint-Cloud, Henri de Bates, Jean de Murs, Jean de Linières, Jean de Saxe, Buridan, N. Oresme, Pierre d'Ailly. — L'Astronomie italienne : Pierre d'Abano. — L'astronomie allemande : Nicolas de Cusa, Purbach, Regiomontanus, Walter.

Ce livre semble avoir été rédigé un peu hâtivement, d'une plume trop facile qui, courant rapidement, paraît avoir mesuré la longueur des phrases au temps qu'elle a mis à les écrire (1). Si on me permet de demander à mon tour,

(1) Cette plume est, aussi, pleine de bienveillance. Il y a un contraste amusant entre les jugements qui peuvent être portés, sur un même acte, suivant le tempérament de leurs auteurs. M. Doublet parle du passage de Vénus sur le Soleil, en 1761, et de l'expédition de Le Gentil dans l'Inde, à cette occasion, « où il éprouva toutes les contrariétés possibles, car les circonstances fâcheuses où l'on se trouvait (la France et l'Angleterre étaient en guerre), firent qu'il lui fut impossible d'être à Pondichéry, le jour du phénomène... Le passage de 1769 devant être encore visible dans l'Inde, il prit la résolution héroïque de l'attendre en Orient, et, pendant huit longues années, il explora toutes les régions avoisinant l'Océan Indien, depuis Madagascar jusqu'à Manille, recueillant une foule de renseignements utiles sur la Géographie et la Physique du Globe ainsi que sur l'Astronomie des anciens Brahmes ». — Voici maintenant le récit du même voyage tiré de l'*Astronomie* de M. Bouasse : « Je me réjouis seulement de la mésaventure du nommé Le Gentil qui, sur une frégate, après maints détours, arrive le 24 mai 1761 devant Mahé, trouve les Anglais maîtres de la place, fiche le camp et voit Vénus passer sur le Soleil en mer, du côté de Madagascar. Il va s'installer à Pondichéry, y reste huit ans pour ne pas manquer le phénomène : mais quand Vénus passe sur le Soleil, un nuage tire le rideau. De deux choses l'une : Le Gentil était un malin qui s'est taillé de la réclame à perpète en prenant sa retraite à Pondichéry qui est une ville aimable, — ou le dernier des imbéciles. — Comme c'est un savant, je penche vers la seconde hypothèse ».

comme on l'a fait récemment, « que notre science soit vétilleuse », j'ajouterai que la ponctuation est détestable et que les renvois aux notes infrapaginales sont quelquefois bien bizarrement placés. Quelques distractions aussi : on peut admettre, de loin, l'approximation qui fait naître Wendelin à Hasselt (p. 282), mais n'y a-t-il pas exagération à faire découvrir par Herschell six satellites à Uranus (p. 544) ? Critiques de détail qui, bien entendu, ne diminuent en rien la portée des éloges que renferment les premières lignes de ce compte rendu.

M. Alliaume.

IV. — Cours de Physique mathématique de la Faculté des Sciences, par J. Boussinesq, Membre de l'Institut, Professeur honoraire de la Faculté des Sciences de l'Université de Paris. — Compléments au tome III : *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale.* Un vol. in-8° de XLVIII-217 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — Prix : 30 fr.

Les deux premiers volumes du Cours de Physique mathématique de M. Boussinesq ont paru en 1901 et en 1903 ; le troisième a paru l'an dernier et a été analysé dans cette Revue aux pp. 212 et suivantes du tome I de la 4me série (janvier 1922). — Des trois parties de ce volume consacrées à des *Aperçus de Philosophie naturelle*, l'une était intitulée *Problème mécanique de l'organisme animé et des principes directeurs (vie et volonté)*. M. Boussinesq y reprenait sa célèbre théorie sur la manière dont les actes libres se soustraient au déterminisme apparent des équations de la Mécanique, déterminisme qui ne subsiste que pour ceux qui négligent les intégrales singulières de ces équations différentielles : au contraire, pour M. Boussinesq, la vie est le propre des systèmes de points matériels régis par des équations différentielles admettant des intégrales singulières, bifurcations de voies devant chacune desquelles intervient, sans introduire de force supplémentaire (au sens des mécaniciens), le principe directeur. — Mais cette doctrine a été résumée dans l'analyse du tome III : aujourd'hui que M. Boussinesq consacre principalement le dernier volume de son Cours à une

mise au point définitive de sa doctrine (1), je rappellerai plutôt les différents travaux qui ont précédé celui-ci.

C'est dans les COMPTES RENDUS (Académie des Sciences) du 19 février 1877 qu'on retrouvera la première note de M. Boussinesq sur l'explication de la vie et de la liberté par les intégrales singulières des équations différentielles de la Mécanique. La même année, deux articles développèrent quelque peu cette note : l'un dans la Revue LES MONDES de l'abbé Moigno, du 22 mars (2), l'autre dans la REVUE SCIENTIFIQUE du 14 avril. — Le grand mémoire de 1878, *Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*, fut adressé par son auteur à l'Académie des Sciences morales et politiques : le *Rapport* de Paul Janet fut inséré au tome IX (nouvelle série) des COMPTES RENDUS de cette Académie et suivi de la partie philosophique du mémoire. Celui-ci parut intégralement, la même année, dans les MÉMOIRES DE LA SOCIÉTÉ DES SCIENCES, DE L'AGRICULTURE ET DES ARTS DE LILLE (t. VI de la 4me série), et en tiré-à-part chez Gauthier-Villars, en un volume in-8° de 256 pages.

La rédaction profondément remaniée et complétée qui paraît aujourd'hui, dans ces compléments au tome III du *Cours de Physique mathématique*, n'est pas nouvelle : elle a été faite tout entière (sauf quelques lignes récentes) en 1879, sur un exemplaire même du volume imprimé. Nous devons être reconnaissants à M. Boussinesq de cette publication, et, déjà, indépendamment de ses compléments et remaniements : c'est que le tirage à part est épuisé depuis de longues années, et l'ensemble des exemplaires de la *Société*

(1) Principalement, non uniquement : car le volume débute par deux articles complémentaires au tome III, l'un dans la partie de ce tome qui concerne la théorie de la lumière, l'autre dans la partie où il est parlé de la tension superficielle des liquides : *Sur l'existence d'un milieu pondérable, qui semble résister beaucoup plus, comme l'éther lumineux impondérable, aux petits glissements mutuels de ses couches qu'à leur rapprochement ; aplatissement suivant l'axe polaire, par la tension superficielle, d'une goutte liquide de révolution et sans pesanteur, possédant une vitesse angulaire donnée de rotation autour de cet axe.*

(2) L'article des MONDES est suivi d'une note de Saint-Venant, sur le même sujet : *Accord des lois de la Mécanique avec la liberté de l'homme dans son action sur la matière.*

des Sciences a disparu, avec toutes les collections de celle-ci, dans l'incendie de l'hôtel de ville de Lille durant l'occupation allemande.

Outre une capitulation plus détaillée, les remaniements de la nouvelle édition ont principalement pour objet les uns de préciser, souvent par des exemples, les considérations qui ont pu paraître un peu abstraites et trop générales dans la rédaction primitive, les autres de répondre à des objections faites à l'auteur au cours des polémiques qui suivirent la première édition. J'y retrouve la trace, en particulier, de critiques de J. Bertrand, et d'une discussion de la doctrine de M. Boussinesq par le P. Carbonnelle.

Le compte rendu bibliographique de J. Bertrand parut au JOURNAL DES SAVANTS (septembre 1878, p. 517 et suiv.). M. Boussinesq aurait pu insérer cette pièce dans son volume. Dès les premières lignes, le lecteur y aurait vu une ironie pas très courtoise qui contraste péniblement avec le ton si sérieux et si consciencieux du mémoire analysé. La réponse de M. Boussinesq, qui s'imposait, ne put paraître dans le JOURNAL DES SAVANTS « à cause d'un règlement ou de traditions propres à ce journal ». C'est la REVUE PHILOSOPHIQUE de Ribot qui la publia vers la fin de 1878. Cette réponse est reproduite dans le volume présenté ici, et, dans le mémoire, quelques lignes ajoutées à la fin du premier chapitre et, peut-être, le n° 48 expliquent des passages qui pouvaient, mal compris, provoquer, comme sous la plume de J. Bertrand, quelque objection.

C'est dans cette REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, dans les tomes V et VI de la première série (1879), dans des articles intitulés *Les actions vitales* et *Les forces volontaires* que le P. Carbonnelle exposa et discuta la doctrine de M. Boussinesq (1). — Celui-ci répondit aux objections du P. Carbonnelle dans une étude de 1879, *Sur divers points de la philosophie des Sciences*, et cette réponse se retrouve presque entièrement dans la nouvelle rédaction du mémoire, où lui est consacrée la plus grande partie de n° 37.

(1) La série d'articles à laquelle appartenaient ceux-ci a été publiée à part en deux volumes sous le titre *Les confins de la science et de la philosophie*, 1881. Voir les chapitres I et II du deuxième volume. — C'est au dossier même du P. Carbonnelle que je dois la documentation bibliographique dont je me sers dans cet article.

La rédaction primitive comportait des notes complémentaires fort étendues. Remaniées pour la plupart et largement complétées, ces notes ont été reproduites dans le nouveau volume.

La note I, *Du rôle des équations aux dérivées partielles en physique mathématique*, est (sauf le titre) la reproduction du texte primitif.

La note II, *Évaluation et loi physiologique des sensations*, est presque entièrement nouvelle. La partie nouvelle s'occupe du seuil de la sensation ; elle renferme une « tentative d'explication de certains quanta par la nécessité où est l'excitation d'excéder ce seuil ». Ce serait le fondement d'une interprétation des quanta par un phénomène subjectif. D'autre part, une note infrapaginale du mémoire (p. 11) a fait remarquer que, si, au contraire, « aucune quantité réelle n'est indéfiniment divisible, l'attraction exercée sur un corps déterminé par un autre qui s'en éloigne de plus en plus, doit enfin, après avoir décru autant que possible conformément à la loi de Newton, s'annuler *en toute rigueur objective*, quand la distance dépasse une certaine limite, inassignable pour nous. Cette limite serait le véritable *rayon d'activité* de l'attraction des corps. Sa mise en compte permettrait d'expliquer de la manière la plus naturelle comment, malgré l'immense étendue de l'univers et la valeur finie de la densité moyenne de la matière dans toute cette étendue, la pesanteur (ou force de *gravitation*) en chaque point de l'espace, est toujours finie, souvent même très petite par rapport aux actions exercées à d'imperceptibles distances entre des quantités minimes de matière ».

La note III, *Sur le rôle et la légitimité de l'intuition géométrique*, est reprise de l'*Étude* de 1879 signalée ci-dessus. Il me suffira de transcrire les titres de ses paragraphes pour faire connaître son objet et son esprit. — « De la défiance que l'intuition géométrique inspire à quelques partisans des doctrines non euclidiennes. — Cette défiance n'est pas justifiée ; car l'évidence ou intuition géométrique ne saurait être, comme ils le supposent, un produit de l'observation externe (1). — Quelque opinion que l'on ait d'ailleurs sur

(1) Dans une Annexe à cette note III, imprimée à la suite de celle-ci, l'auteur développe cette idée : *Sur l'impossibilité d'arriver*

son origine, le sens géométrique n'en reste pas moins la plus parfaite de nos connaissances intellectuelles, la mieux définie dans son objet. — Accord des géomètres non euclidiens avec les autres dans les questions pratiques, aux degrés d'approximation que peuvent espérer atteindre les êtres humains. — Nécessité de rejeter la croyance aux géométries non euclidiennes, malgré les mystères subsistant dans l'intuition géométrique. — Sans l'intuition, tout raisonnement deviendrait impossible en géométrie et, probablement, dans les autres branches des mathématiques. — Réflexions sur la notion d'espace. — De la distinction des mouvements absolus et des mouvements relatifs. — Dans la nature, les grands corps ont les mouvements les moins changeants, ou se rapprochant le plus d'une translation rectiligne et uniforme, presque équivalente au repos. »

A propos de ces deux derniers paragraphes, je remarque que l'espace absolu est, pour M. Boussinesq, celui par rapport auquel « les équations différentielles de la dynamique reçoivent le maximum de simplicité dont elles sont susceptibles » (p. 127) : il est donc défini comme repéré par l'un des systèmes d'axes par rapport auxquels les principes de la Mécanique sont vrais.

Quant aux géométries non euclidiennes, on vient de voir quelle est la thèse de M. Boussinesq. Il l'avait annoncée dans deux pages ajoutées au mémoire principal « sur l'impossibilité d'utiliser les géométries non euclidiennes dans les sciences naturelles » (p. 96) : « On ne voit pas quelle règle formulable pourrait être opposée aux pires fantaisies, aux rêves les plus arbitraires d'une imagination malade et incohérente, le jour où l'on accepterait, en *géométrie réelle*, les triangles, prétendus rectilignes, impossibles, avec leur somme d'angles différant de deux droits. Il n'y aurait donc plus aucun moyen de distinguer, dans la figure des choses, la vérité de l'illusion, ni une philosophie correcte d'une *sophistique* malheureusement devenue, depuis quelques années (peut-être à l'occasion d'Einstein), séduisante auprès des jeunes géomètres par la riche coloration de ses nuages, mais cer-

aux notions géométriques par une simple condensation des résultats de l'expérience.

tainement décevante par l'impossibilité d'y rien construire de précis, d'y rien dessiner nettement, à moins de conventions compliquées et tout artificielles ». Enfin, après la Table des matières (p. 213) l'auteur revient encore, dans une note insérée aux errata, sur cette « impossibilité d'appliquer en Physique, au moins d'une manière simple et naturelle, les géométries non euclidiennes ».

Les notes IV, V et VI sont reprises du mémoire original (sauf un complément, — Efforts musculaires et fatigue nerveuse,— à la sixième) : *Sur la possibilité d'attribuer des dérivées à toutes les fonctions continues qui se présentent dans les applications. — Démonstration de l'existence des intégrales générales et de la possibilité d'intégrales singulières de diverses sortes. Calcul de celles-ci* (1). — *Pourquoi l'imagination nous fait-elle attacher un sens d'effort à des produits de masses par des accélérations ? — Réflexions diverses sur les forces, etc.*

La note VII, *Sur le principe de la moindre action*, est nouvelle.

J'ai déjà signalé la Lettre au directeur du JOURNAL DES SAVANTS, en réponse à l'article de J. Bertrand. L'ouvrage se termine par deux articles étendus de Renouvier parus en 1882 dans LA CRITIQUE PHILOSOPHIQUE, et dont la plus grande partie discute la doctrine de M. Boussinesq : *De quelques opinions récentes sur la conciliation du libre arbitre avec le mécanisme physique*. Dans le second de ces articles, M. Boussinesq insère deux courtes notes : l'une sur les perturbations qu'introduisent incessamment, dans les trajectoires des points matériels de la nature non vivante, les influences quotidiennes imprévisibles de la vie et de la volonté ; l'autre sur l'instabilité physico-chimique distinctive des êtres vivants prouvant expérimentalement la multiplicité des voies qui s'y ouvrent sans cesse aux phénomènes, — circonstance capitale qui paraît avoir échappé à Renouvier.

M. ALLIAUME.

(1) Cette note V a été écourtée de deux paragraphes, l'un sur l'intégration des équations différentielles par approximations successives, l'autre sur les notions d'aire et de volume.

V. — Pour comprendre Einstein ! par M. l'abbé Th. Moreux. — Un vol. de 245 pages (19 × 12), avec fig. dans le texte. — Paris, Doin, 1922. — Prix : 7 fr.

La théorie si controversée de la relativité a retenu l'attention du distingué directeur de l'Observatoire de Bourges. Beaucoup de lecteurs, qui ont apprécié ses nombreux ouvrages, jouiront de le retrouver ici vivant et alerte à dire les progrès des sciences et à exposer ses réflexions à leur sujet

Son nouveau livre montre les physiciens relativistes à l'œuvre pour mettre plus d'ordre et d'enchaînement dans les acquisitions disparates de la science. Ce n'est pas M. l'abbé Moreux qui désapprouvera cette entreprise ; mais il reproche, et vertement, à ces théoriciens d'abuser des postulats et d'exagérer la portée des déductions mathématiques tout abstraites. Il refuse catégoriquement valeur de théorie physique au *continuum* espace-temps construit par Minkowski et fondement des théories d'Einstein.

Définir la mesure des phénomènes physiques ne va pas sans difficultés, l'auteur le reconnaît et s'efforce même de l'expliquer. Ces difficultés proviennent, pense-t-il, de ce que notre entendement introduit la continuité de l'étendue et de la succession dans nos concepts de l'espace et du temps. La solution se trouverait dans la découverte de forces-énergies élémentaires, capables elles-mêmes d'actions élémentaires. La science expérimentale n'a pas encore déterminé d'étalon absolu ; mais elle y arrivera, M. l'abbé Moreux en est convaincu.

H. Dopp.

La Teoria della relativita. 2° migliaio. Volgarizzazione e Critica, par Giuseppe Gianfranceschi. — Un vol. de 64 pages (24 × 16). — Milano, *Vita e Pensiero*, 1922. — Prix : 5 lires.

L'auteur est professeur à l'Université de Rome et président de l'Académie pontificale *dei Nuovi Lincei*. La première partie de son travail explique de façon élémentaire la théorie physique de la relativité ; résumé qui se distingue par l'aisance et la clarté. La seconde partie est une étude critique accessible au public même non particulièrement initié. Le jugement

qui y est porté sur l'œuvre des théoriciens relativistes est sévère. Les considérants en sont dictés par une philosophie très réaliste. Telle quelle la sentence ne me paraît frapper que les relativistes extrémistes. J'appellerais volontiers ainsi ceux qui, dépassant les frontières du phénomène, où devrait s'arrêter le physicien, exagèrent le rôle du sujet dans la connaissance humaine jusqu'à nier le savoir objectif et réel. Sans les suivre dans ces conclusions qui dépassent les prémisses, il ne me paraît pas illégitime d'attribuer à la théorie de la relativité une signification physique.

H. Dopp.

VI. — Méthodes actuelles d'expertise employées au laboratoire municipal de Paris et documents sur les matières relatives a l'alimentation, publiés sous la direction de M. André Kling, Docteur ès sciences, Directeur du Laboratoire municipal de Paris. V. *Eaux et Air.* — Un vol. de 181 pages (16×25), avec figures. — Paris, Dunod, 1922. — Prix : broché, 14 fr. ; reliure, 3,50 fr. en sus.

Le présent volume est le troisième de la collection publié jusqu'ici. Nous avons rendu compte ici même (1) des deux parus précédemment ; la méthode suivie est toujours substantiellement la même ; cependant il a fallu tenir compte de la nature spéciale des corps à étudier et de la difficulté plus grande que présente leur expertise, difficulté provenant en partie de l'extrême abondance de ces corps et de la facilité avec laquelle ils peuvent tenir en solution ou en suspension les différentes matières étrangères avec lesquelles ils viennent en contact.

La majeure partie, 144 pages sur 175, est consacrée à l'étude de l'eau, la plus importante d'ailleurs au point de vue pratique. Dans un premier chapitre, M. Dieudonné, chimiste au laboratoire municipal, traite de l'analyse chimique de l'eau. Suivant les usages auxquels l'eau est destinée, celle-ci devra avoir des qualités et partant une composition différentes ; de là aussi la nécessité de diverses méthodes d'analyse. M. D. commence par nous indiquer la composition

(1) Revue des Quest. scient., 20 janv. 1922., pp. 229-231 ; 20 avril 1922, pp. 455-456.

et les qualités que doivent avoir les eaux potables, les eaux minérales, les eaux distillées, les eaux destinées à l'industrie et enfin la glace ; il établit la distinction entre eaux minérales et eaux de table, eaux naturelles et eaux artificielles. Il examine ensuite les moyens d'amélioration des eaux domestiques et industrielles : les plus fréquemment en usage sont la filtration et le traitement par certains réactifs chimiques. Nous trouvons ici la description des procédés de filtration employés depuis longtemps par la Compagnie des *Eaux de la banlieue (de Paris) et la Compagnie générale des eaux*. Viennent ensuite les procédés proprement dits d'analyse. Après avoir décrit avec soin les précautions nécessaires lors de la prise d'échantillon, il passe en revue les procédés physiques d'examen des eaux, puis l'analyse chimique rapide des eaux potables et leur analyse complète, l'analyse rapide des eaux minérales et leur analyse complète. Enfin quelques indications précieuses doivent servir à interpréter judicieusement les résultats fournis par l'analyse.

L'analyse chimique est insuffisante pour juger de la valeur d'une eau au point de vue alimentaire, et il est absolument indispensable de la compléter par une analyse biologique, et surtout par une analyse bactériologique qui permettra souvent d'établir des contaminations ayant échappé à l'analyse chimique. Cette analyse microbiologique est exposée au chapitre II par M. Maurice Lombard, chimiste principal au Laboratoire municipal. L'étude bactériologique des eaux est extrêmement difficile, de là souvent des incertitudes dans les résultats. La pureté des eaux au point de vue bactériologique est d'ailleurs fort différente, et l'auteur énumère les différentes eaux naturelles en indiquant les principales causes de contamination. Toutefois, plusieurs procédés permettent, jusqu'à un certain point, d'améliorer les eaux contaminées : la filtration, la stérilisation par la chaleur et par les rayons ultra-violets, la formation de dépôts, l'épuration électrique, enfin l'emploi chimique d'antiseptiques, tels que le sulfate de cuivre, les permanganates, les composés oxygénés du chlore, l'ozone.

Dans le chapitre III, M. J. Lafore, Chimiste au Laboratoire, traite des eaux résiduaires, c'est-à-dire des eaux usées renfermant les déchets de la vie et de l'activité humaines,

et fait ressortir les inconvénients et dangers que peuvent présenter ces eaux au point de vue de la contamination chimique et bactériologique des nappes souterraines et des cours d'eau, et de la nécessité de les épurer avant leur retour dans le cycle de la nature.

Dans la deuxième partie consacrée à l'air, une première étude sur l'analyse microbiologique de l'air est due à M. Maurice Lombard. Le nombre des microbes se trouvant dans un volume donné d'air est fort variable ; il n'y en a presque pas dans une atmosphère de repos, loin de toute habitation ; on en a trouvé au delà de 50 000 par mètre cube dans les hôpitaux ; cependant, malgré l'énormité apparente de ce nombre, on doit dire que l'air est relativement pauvre en microbes ; 50 000 en effet par mètre cube ne fait que 50 par litre ; or, une eau qui n'en renfermerait pas davantage serait considérée comme pratiquement stérile. Après ces considérations générales, M. Lombard nous indique comment on peut améliorer la qualité de l'air, l'assainir en utilisant le mieux possible les moyens naturels par une hygiène bien entendue et en favorisant l'accès de la lumière : dans des cas exceptionnels, on aura recours aussi aux antiseptiques et principalement à l'anhydride sulfureux et au formol.

Dans un deuxième chapitre, M. Daniel Florentin étudie la composition de l'air, et donne les procédés de dosage de l'anhydride carbonique et de l'oxyde de carbone.

H. S.

VII. — L'Industrie du Fer en France, par J. Levainville. Collection Armand Colin (section de Chimie). Un volume in-16, de 211 pages avec 4 cartes dans le texte. — Paris, Colin, 1922 Prix : 5 fr.

Tous ceux que préoccupent les troubles économiques actuels liront avec plaisir le livre de M. Levainville.

Prenant l'industrie du fer dans son origine, il nous montre le procédé du bas foyer, régnant sans modification en France, tant que sa faible production suffit à la demande et ne cédant le pas au procédé du fourneau qu'à partir du XIVe siècle, alors que les guerres incessantes eurent augmenté la consommation. Puis, dans un aperçu historique très intéressant, il examine toutes les modifications que devait subir ce procédé pour devenir la grande industrie du fer.

S'attardant spécialement à la période de transformation du XIXe siècle, il nous montre comment l'introduction, en métallurgie, des découvertes de ce siècle a fini par substituer « à une poussière de petites fabriques clairsemées, éparpillées, à travers toute la France, sans lien entre elles, étroitement spécialisées dans la production, d'énormes agglomérations industrielles concentrées en certains points du territoire, réunies par les liens syndicaux et économiques et qui livrent les produits les plus divers ».

Dans toute cette étude, bien étayée sur des chiffres, l'auteur fait œuvre vraiment personnelle en dégageant admirablement de chaque modification les conséquences économiques et sociales qu'elle entraîne.

M. Levainville en arrive ainsi tout naturellement à examiner avec le même esprit la situation de l'industrie du fer en France dans son état actuel, après une guerre dont cette industrie fut une des causes et dont elle eut tant à souffrir.

S'il nous montre la place enviable que la France peut conquérir comme puissance métallurgique depuis que le traité de paix lui a restitué ses mines, il nous montre aussi l'effort qu'elle aura à fournir pour y arriver.

H. Thyssen.

L'Acier. Élaboration et Travail, par le Cel J. Rouelle. Collection Armand Colin (section de Chimie). Un volume in-16, de 200 pages avec 45 figures. — Paris, Colin, 1922. Prix : 5 fr.

Tel qu'il a été conçu, le livre du Colonel Rouelle embrasse en peu de pages un sujet extrêmement vaste. On trouvera dans ce volume non seulement l'exposé clair et concis de la fabrication des divers produits des Aciéries, mais encore l'analyse des procédés qui servent, dans les usines secondaires, à transformer en produits finis les ébauchés des aciéries. Afin de pouvoir étudier l'influence des traitements thermiques sur les propriétés des alliages fer-carbone, l'auteur est amené à exposer brièvement leur structure ; désireux de fournir aux constructeurs quelques principes qui les guident dans le choix des aciers, l'auteur s'étend aussi sur les essais auxquels on soumet ces derniers. Le Colonel Rouelle n'a, certes, pas voulu écrire un livre à l'intention du

spécialiste ; mais il a su composer un livre de vulgarisation comme savent en composer ceux-là seuls qui possèdent à fond leur sujet.

H. THYSSEN.

VIII. — LES POISSONS, LEUR VIE ET LEUR PÊCHE. Un important problème d'histoire naturelle océanographique et économique, par LOUIS ROULE, professeur au Muséum national d'Histoire Naturelle. Un vol. de 175 pages. Bibliothèque de Culture générale. — Paris, Flammarion, 1922. — 4,50 fr.

M. Roule, par toute sa carrière et ses nombreuses publications antérieures, était tout indiqué pour fournir cet excellent volume à la « Bibliothèque de Culture générale » de la Maison Flammarion.

Il l'était d'autant plus que l'idée qu'il se fait d'un ouvrage de vulgarisation est on ne peut plus heureuse. « Il ne doit rebuter, dit-il, ni par une langue trop technique, ni par une exposition trop minutieuse et détaillée. Il lui faut, à chaque page, s'ouvrir sur la science entière, et entraîner avec lui l'esprit de son lecteur... » C'est d'un homme averti. Mais encore est-il qu'il n'a pas réalisé son plan autant qu'il le pense. L'auteur, comme la plupart des spécialistes, pour ne pas dire tous, se fait bien un peu illusion. Les mots qui lui sont tout familiers, comme ils le sont à ses pairs, sont loin d'être usuels pour quiconque se hasarde — et, ma foi, sans présomption — dans le domaine de la « culture générale ». L'euryhalinité, les tropismes, les halieutiques... sont des termes un peu fort spéciaux pour être mis, sans plus, sous les yeux de lecteurs qui n'ont qu'une formation scientifique générale.

Cette remarque faite, dont il sera bien aisé de tirer profit, si l'auteur le juge bon, venons à l'œuvre elle-même.

Le sujet est traité avec méthode. Après avoir expliqué, dans le premier chapitre, ce que c'est que la « migration » marine, M. Roule passe à l'étude des faits. Les plus intéressants et les mieux connus sont ceux qui se rapportent au saumon et à ses congénères, à l'anguille et au groupe des thons.

Les salmonidés naissent dans les fleuves (potamotoques) et se développent en mer. L'anguille se reproduit dans la mer

(thalassotoque) et les jeunes s en viennent, pour grandir, croupir parmi les eaux et, de préférence, les vases continentales. Enfin, le thon, surtout impressionné par les conditions de salinité et de température, fait des voyages à saison fixe. De ce type sont les maquereaux, la morue, le hareng, la sardine et d'autres qui se déplacent en masse d'après le jeu des phénomènes saisonniers, ce qui conduit aux pêches dont nous connaissons les dates et l'importance.

Les mœurs, à première vue bizarres et souvent merveilleuses, des poissons migrateurs, sont exposées dans ces chapitres d'une manière suffisamment scientifique et documentaire, vu le cadre de l'ouvrage. Mais ne disons pas qu'elles sont décrites à la façon d'un Fabre ; convenons d'ailleurs que cet art-là n'est pas donné à qui voudrait l'avoir... Puis le milieu où se meuvent les poissons ne se prête pas aux observations amoureuses auxquelles pouvait se livrer le solitaire de Vaucluse. La condition des scaphandriers n'est point aisée et encore ne peut-on, même ainsi, affronter les abîmes océaniques.

Deux chapitres de conclusion terminent très heureusement l'œuvre de M. Roule. L'un fait ressortir le côté téléologique des faits étudiés et l'autre leur côté économique. Ces deux points de vue sont certainement les aspects qui offrent le plus d'intérêt pour le lecteur moins spécialisé.

Il nous arrive souvent de nous poser des « pourquoi » insolubles. Pourquoi le ciel sans nuages est-il bleu ? A quoi servent les puces, les mouches ? Etc., etc... ? M. Roule nous explique, lui, non sans vraisemblance, l'une des raisons d'être du « plankton » : de ces myriades de petits êtres qui voyagent suspendus dans les eaux marines et autres, à la manière où les poussières de nos appartements dansent dans un rayon de soleil. Ce sont ces infiniment petits qui constituent l'alimentation de beaucoup de poissons migrateurs, grâce à l'immensité prodigieuse de leur nombre. Telles les étendues infinies des pampas, des steppes, des herbages de toutes sortes nourrissent, en repoussant sans cesse, les troupeaux des ruminants. Pour l'entretien de sa vie l'homme a besoin des uns et des autres, et il ne songe pas assez qu'il faut à cette fin le tapis des prairies et la floraison multiforme de mille êtres qui vont jusqu'à rendre opaline l'eau limpide de l'océan.

L'auteur appelle cela du « déterminisme migrateur ». Nous dirons tout bonnement que ce sont là des faits qui accusent une fois de plus la finalité dans la Création.

Quoi qu'il en soit, nous ne doutons pas que la plupart des lecteurs ne fermeront qu'avec satisfaction ce petit volume ; ils y auront beaucoup appris, d'une façon qui n'aura nullement été désagréable, et leur admiration des merveilles de la Nature se sera singulièrement accrue.

G. SCHMITZ, S. J.

LE PÉTROLE. SON ORIGINE, SA COMPOSITION, SA RECHERCHE. Adapté de l'ouvrage *Popular Oil Geology*, de V. ZIEGLER, professeur de l'École des Mines du Colorado (États-Unis), par le commandant ANTONIN MARTIN, ancien officier de marine. — Un vol. de XII-163 pages, avec 31 figures explicatives. — Paris, Alcan, 1922. — 6 francs.

Il ne faut pas chercher dans cet opuscule — où la justification du texte ferait croire à une simple transposition des articles d'un journal dans la forme d'un volume — il n'y faut pas chercher un « traité » sur la question du pétrole, qui est tellement à l'ordre du jour, depuis la guerre surtout. Le titre anglais est d'ailleurs plus explicite : il s'agit ici d'un volume s'adressant au grand public, au public qui n'a guère de préparation scientifique et qui désire néanmoins se faire une idée de ce problème minier dont la solution, selon qu'elle favorisera plus ou moins tel ou tel parti, pourrait provoquer des répercussions économiques, voire politiques, même inquiétantes.

L'introduction dans l'industrie et les perfectionnements du moteur Diesel ont plus que décuplé, en moins de sept ans, l'utilisation du pétrole (mazout) dans la chauffe, et particulièrement dans celle des navires. Aussi, tout ce qui touche aux gisements pétrolifères et à leur exploitation est-il passé au premier rang des sujets qui retiennent l'attention.

Le commandant Martin, sans grand appareil scientifique, nous indique donc, dans les grandes lignes, ce qu'on sait au sujet du pétrole. Il en fait l'historique et nous dit ce qu'il faut espérer au point de vue industriel et économique. Dans le corps de l'ouvrage se trouve exposée la géologie du pétrole. Ici encore tout est fort sommaire, et, celui que des études

préliminaires plus étendues n'a pas préparé, risque beaucoup de ne point comprendre l'auteur. C'est, en somme, un résumé qui ressemble fort à de bonnes notes prises à l'audition d'un cours.

Franchement il faudrait un peu plus de développements pour qu'on puisse appeler cet ouvrage un ouvrage de vulgarisation. Il l'est d'autant moins qu'il rapporte toutes les hypothèses, toutes les théories, toutes les opinions, qu'il les juxtapose tout bonnement sans un antidote critique suffisant pour guider le lecteur moins expert.

L'introduction du commandant Martin est d'ailleurs fort modeste ; on aurait mauvaise grâce de lui demander plus qu'il ne promet. En tout état de cause nous avons ici un bon aide-mémoire sur la question du pétrole. Regrettons encore, cependant, que si l'auteur a adapté l'ouvrage du Prof. Ziegler aux besoins du public de langue française, il n'ait pas substitué — ou ajouté au moins — un certain nombre d'exemples et d'applications pris plus près de nous, à ceux que le premier auteur avait tout naturellement choisis en Amérique.

Le chapitre qui résume les données géologiques perd tout particulièrement, pour nous, à ne se baser que sur des faits de la géologie américaine. En plus, si court qu'il soit, il révèle chez l'auteur des préoccupations qui ne sont pas d'ordre purement scientifique. Qu'est-ce que l'anthropopithèque peut bien faire au pétrole ?

G. Schmitz, S. J.

IX. — Les maladies parasitaires des plantes (Infestation-Infection), par M. Nicolle et J. Magrou. — Un vol. de 200 pages (20 × 13).— Paris, Masson, 1922.— Prix : 8 frs.

Voici, à l'usage des biologues, médecins, botanistes et zoologues, un ouvrage de phytopathologie qui plaira par l'ordonnance, la concision et surtout l'heureux essai de synthèse qu'ont tenté les auteurs.

MM. Nicolle et Magrou, de l'Institut Pasteur, étudient successivement les maladies végétales dues aux insectes, aux acariens, aux nématodes, puis celles qu'engendre l'infestation des phanérogames, des thallophytes et des bactéries. Ayant fait ample provision de documents, ils les ont soumis à une critique consciencieuse, pour ne retenir que les éléments

de toute sécurité et de vrai intérêt. L'étude des altérations anatomiques et fonctionnelles propres à chaque parasite leur a permis de répartir les diverses affections. Cette analyse du processus des perturbations les amène à présenter — dans les limites que tolère la connaissance actuelle des méfaits parasitaires — une interprétation personnelle, claire, objective du mécanisme des maladies, une intéressante vue d'ensemble de la pathogénie infectieuse végétale.

Il sera permis d'exprimer le regret que les auteurs, par souci de concision et de clarté, aient donné à l'ouvrage un aspect trop mathématique, une allure d'exposé didactique, dissimulant mal d'ailleurs une plume qu'en maint endroit on sent charmante d'aise et de vivacité.

J. P.

X.— L'ORGANISATION DE LA MATIÈRE DANS SES RAPPORTS AVEC LA VIE. Études d'anatomie générale et de morphologie expérimentale sur le tissu conjonctif et le nerf, par JEAN NAGEOTTE, professeur au Collège de France, Médecin de la Salpêtrière.— Un vol. de VI-560 pages (25 × 17) avec 152 fig. dans le texte et 4 planches. — Paris, Alcan, 1922. — Prix : 50 fr.

M. Nageotte consacre la part de loin la plus considérable du présent ouvrage à exposer ses recherches personnelles sur la structure de la fibre nerveuse à l'état normal, sur la dégénération des racines, la dégénération transneurale et les processus de régénération, sur la cicatrisation du nerf, la genèse de la substance conjonctive et la greffe des tissus morts.

Ce sont de véritables mémoires techniques ; à eux seuls ils occupent les deux derniers tiers du volume. Les 170 premières pages s'adressent à un public moins restreint ; elles contiennent des exposés généraux sur l'organisation de la matière dans ses rapports avec la vie. Mais le savant professeur au Collège de France ne veut cependant pas s'y départir d'une méthode purement inductive. Il procède par analyses exhaustives d'exemples concrets, pour établir successivement la vraie nature de la substance intercellulaire, de la cellule proprement dite, des systèmes anatomiques complexes.

Le tissu conjonctif a l'avantage de montrer un contraste frappant entre ses deux parties constitutives. D'un côté les

cellules épaisses nucléées à protoplasme granuleux, de l'autre la substance intercellulaire filamenteuse et continue. L'auteur établit que dans les cas de cicatrisation la substance conjonctive se développe par un véritable métamorphisme de la fibrine contenue dans le coagulum cruoral, c'est-à-dire aux dépens d'un élément figuré apparu *de novo* dans un blastème liquide. Rejetant ensuite l'hypothèse de la genèse cellulaire des fibres, M. Nageotte ramène la multiplicité des origines de la substance intercellullaire à un phénomène d'épigénèse dans le milieu intérieur. Cela lui suffit pour écarter les préoccupations vitalistes en ce qui concerne la substance conjonctive.

Les interactions entre cellules et matière organisée montrent que la trame intercellulaire résulte de conditions complexes, parmi lesquelles l'activité cellulaire joue un rôle décisif, sans que, cependant, cette trame soit d'origine cellulaire. La trame à son tour réagit sur les cellules par son organisation physique ; c'est ce qui est spécialement clair dans les cas de l'insertion de greffons morts ; ceux-ci peuvent se réhabiliter dans l'organisme où ils sont insérés, grâce au tropisme que les fibroplastes possèdent à l'égard de la substance conjonctive comme à l'égard de la fibrine.

Ayant réduit à un processus physico-chimique la formation et l'action de la substance intercellulaire, l'auteur étudie l'élément spécifiquement vivant ; il reconnaît sans peine que l'on est encore loin d'expliquer son fonctionnement. Cependant la cellule représente un mécanisme dont les parties élémentaires (substances diverses, ferments solubles, mitochondries, noyau, organites de tout genre), ne sont que des rouages de la vie, sans être eux-mêmes vivants. Le fonctionnement de l'ensemble résulte de l'agencement des parties. Ce mécanisme d'ailleurs appartient à un type entièrement différent de celui que nous savons constituer : il met en œuvre simultanément tous les modes d'énergie et, point essentiel, son édification est comprise dans son fonctionnement. Mais en y réfléchissant on est conduit à penser que les expériences naturelles qui se font constamment du fait de l'agitation constante des atomes, doivent forcément amener la constitution de tous les édifices viables, même des plus compliqués, pour la seule raison que ces édifices sont matériellement

réalisables, les propriétés physico-chimiques de la matière étant données.

Après l'étude des problèmes généraux relatifs aux tissus isolés, nous sommes amenés à considérer dans l'exemple du nerf périphérique comment les éléments anatomiques se groupent en systèmes complexes.

Résumer complètement cet ouvrage, est évidemment chose impossible. Tout l'appareil scientifique déployé, la minutie des descriptions techniques, le nombre de théories ou d'hypothèses scientifiques alléguées, la méthode elle-même d'analyse pénétrante de quelques faits d'expérimentation, tout cela ne peut être condensé dans les quelques lignes d'un compte rendu.

Le souci qui tenaille l'auteur de ne pas s'écarter du domaine purement expérimental, rend l'ouvrage d'une lecture difficile, et l'encombre de redites. La position philosophique adoptée ne diffère guère du mécanisme de Loeb, Verworn ou Le Dantec. Malgré cela, il y a grand profit à refaire à la suite de M. Nageotte l'enquête sur les problèmes fondamentaux de la vie. Les conclusions du philosophe doivent être discutées, mais on ne peut que reconnaître la science profonde du morphologiste, et la loyauté parfaite du chercheur.

R. Devisé, S. J.

XI. — Les secrets de la baguette et l'art du sourcier, étude théorique et pratique, par Benoît Padey. — Un vol., grand in-8°, 322 pages. — Paris, Charles Amat, 1922.

Voici un livre neuf, original, et qui renouvelle heureusement l'étude du problème des sourciers. M. Padey se sépare de ses prédécesseurs en plusieurs points. D'abord il nous fait grâce de cette érudition historique que l'on emprunte invariablement à Vallemont et Le Brun. Ensuite il essaie de s'abstenir d'une systématisation prématurée des faits. Dans l'état rudimentaire de la question ce sont les faits surtout qui nous intéressent, le détail concret, la description précise, la technique pratique : en un mot, tout ce qui permet d'étudier, de contrôler les expériences, de les reproduire, voire même d'en obtenir des résultats immédiats. Pour être vraiment utile il faut tout dire, et les professionnels répugnent à livrer leurs secrets chèrement acquis.

Avec un rare désintéressement, M. Padey communique

au public ses schémas, ses recettes, jusqu'à des artifices de métier, fruits d'une longue expérience. Voilà pourquoi son livre est très original, voilà pourquoi il est indispensable à ceux qu'intrigue cette curieuse et décevante énigme.

Ce n'est pas, croyons-nous, un travail définitif. Il ne va pas toujours du simple au composé. Le lecteur se perd au début dans la complexité des influences ; on a peine à découvrir les moyens de simplification nécessaires, le fil conducteur qui guidera dans ce dédale de réactions ; le fil existe cependant et semble de bonne qualité.

L'auteur a rédigé un répertoire, non un traité didactique. Dans son livre, plus d'un détail paraîtra discutable, certains peut-être un peu naïfs. Mais, ne l'oublions pas, M. Padey nous expose des procédés qui lui ont réussi : on aurait mauvaise grâce à ne les pas examiner avec une attention bienveillante.

Un désir naît à parcourir ces pages : celui de voir le sourcier à l'œuvre, de l'entendre commenter sur le terrain ses méthodes d'aspect si personnel. Espérons que l'effort méritoire qu'il a tenté aidera quelques-uns des chercheurs, et provoquera de nouvelles publications pratiques.

CH. POISSON.

XII. — LA NOTION D'ESPACE, par D. NYS, professeur à l'Université de Louvain. — Publication de la fondation universitaire de Belgique. — Un vol. de 446 pages (25 × 17). — Bruxelles, Sand, 1922. — Prix : 30 fr.

La plupart des doctrines exposées dans ce travail avaient déjà été l'objet d'une étude couronnée par l'Académie Royale de Belgique et consignée dans ses Mémoires en 1907 sous le titre : *La nature de l'espace selon les modernes depuis Descartes*. L'ouvrage est partagé en deux sections, la première relative à la nature de l'espace, la seconde à ses propriétés. L'auteur n'a rien changé à ses théories philosophiques. Celles-ci sont assez connues pour qu'il soit superflu d'en louer une fois de plus la solidité et la cohésion. C'est surtout du point de vue historique, comme exposé et discussion des systèmes, que l'auteur a revu et complété son premier travail, avec une richesse d'information dont on se fera une idée en parcourant l'index onomastique à la fin du volume.

Le lecteur s'aperçoit bien vite que cette immense érudition n'est pas seulement de façade, mais que l'auteur a réellement lu et étudié les philosophes dont il examine les doctrines. Exemple de conscience professionnelle trop rare pour qu'on n'applaudisse pas avec chaleur chaque fois qu'on a le plaisir de le rencontrer.

Il était pourtant impossible au savant auteur d'éviter tout à fait les défauts inhérents à ce genre contestable, trop en vogue aujourd'hui, qui consiste à faire défiler toutes les écoles à propos d'une question particulière. Dans un système construit logiquement tous les problèmes sont résolus en fonction d'un même principe, premier et générateur, lequel consiste toujours dans une affirmation au moins implicite sur les rapports de l'être et de la pensée, et auquel il faut sans cesse se rapporter pour saisir le sens authentique des solutions particulières. A les détacher de l'ensemble dont elles sont des parties organiques, on risque de les déformer, ou tout au moins d'égarer les lecteurs.

M. Nys ne serait donc pas surpris si l'on contestait l'un ou l'autre de ses exposés, ou si l'on jugeait que la discussion n'est pas toujours également décisive et éclairante. Nous ne saurions, par exemple, souscrire pleinement au reproche d'idéalisme, entendu au sens d'irréalisme, que l'auteur adresse à la métaphysique allemande issue de Kant. D'ailleurs, est-ce bien « issue » qu'il faut dire ? Est-ce que Hegel en particulier ne représente pas plutôt une réaction exagérée contre le Kantisme ? Quoi qu'il en soit, si l'on examine de près les connexions internes du système de Hegel, il semble bien que pour lui la nature spatiale est seulement irréelle dans un sens tout relatif, comparativement avec l'esprit, ou, si l'on préfère s'exprimer en termes scolastiques, dans le sens où le composé de puissance et d'acte est irréel par comparaison avec l'acte pur. Hegel n'a fait que rééditer des pensées qui sont communes à toutes les grandes métaphysiques, y compris celle que M. Nys professe si brillamment.

La philosophie étant la terre d'élection de la controverse, M. Nys nous permettra encore une petite querelle à propos de la question de méthode. Il distingue le point de vue cosmologique et le point de vue psychologique, il passe successivement de l'un à l'autre. N'est-ce pas plutôt le point de vue

critique, d'après lequel il s'agirait tout d'abord d'analyser l'*acte commun du connaissant et du connu*, qui est le point de vue primordial, nécessaire, dans toutes les discussions afférentes à la notion d'espace ? L'espace n'est pas seulement dans les choses, il est aussi dans notre connaissance sensible. La spatialité intrinsèque aux choses se complique de la spatialité inhérente à nos moyens de perception. Voilà une doctrine bien scolastique. Sans faire acte d'adhésion au Kantisme, n'est-il pas permis de reconnaître une part de vérité, ou tout au moins une indication utile, dans la théorie de l'espace forme a priori ? Les idées de Kant ne sont peut-être pas tout à fait aussi extravagantes que M. Nys feint de le croire. Est-ce qu'il ne dit pas quelque chose de semblable quand il s'approprie la parole de Fouillée : « Notre intelligence baigne dans une atmosphère de spatialité » ? C'est la réalité insinuée par cette métaphore qu'il importerait de définir une bonne fois avec une précision rigoureusement philosophique. Peut-être est-ce en distinguant et en qualifiant l'espace sensible et l'espace intelligible qu'on parviendra un jour à dissiper les confusions et à résoudre les antinomies.

Quelques pages sont consacrées à la grande théorie qui aujourd'hui fait tourner les têtes. Ici, avouons une déception. L'auteur distingue le point de vue scientifique et le point de vue métaphysique, mais sans nous dire comment ces deux points de vue se distinguent, ni comment ils sont légitimes chacun dans son ordre, ni comment il faut les coordonner. Nous ne comprenons pas comment une théorie scientifique, qui n'est pas une théorie métaphysique, peut être considérée à un point de vue métaphysique. Il se peut que la relativité d'Einstein a une valeur de théorie scientifique. Cela regarde les physiciens. La seule question qui intéresse le philosophe est celle-ci : Est-ce que la théorie d'Einstein satisfait aux conditions formelles de la connaissance physique, c'est-à-dire de la connaissance sensitivo-rationnelle ? Si *oui*, la parole est aux faits. Si elle est confirmée par les faits, elle est vraie d'une vérité relative, dans la mesure de cette confirmation. Si *non*, malgré tout le tapage qu'elle soulève, ses jours sont comptés. Malheureusement pour nous, l'auteur s'est abstenu de poser la question.

Le magistral ouvrage de M. Nys force à réfléchir, même aux

endroits où l'on n'est pas pleinement d'accord avec l'auteur. C'est le meilleur service que puisse rendre un livre de philosophie.

P. SCHEUER, S. J.

XIII. — L'ÉVOLUTION UNIVERSELLE, par BRANISLAV PETRONIEWICZ. — Un vol. in-12 de VIII-212 pages (20 × 13). — Paris, Alcan, 1921. — Prix : 7,50 fr.

M. Petroniewicz est avantageusement connu des philosophes, pour ses *Principes de la théorie de la connaissance* et ses *Principes de Métaphysique*. Les théoriciens de la mathématique n'ignorent pas non plus ses essais sur *la Géométrie nouvelle, les Géométries typiques et l'infini*. Aujourd'hui les sciences de la nature occupent le métaphysicien qui tient à « éviter les conflits entre les constructions métaphysiques et les faits positifs dont ses prédécesseurs ont tant souffert ».

Dans sa préface, l'auteur annonce que, de son travail, tout le monde peut tirer grand profit. « Le lecteur ordinaire y trouvera un exposé clair de l'évolution universelle, le savant une argumentation serrée pour la vérité de ces faits, le métaphysicien une critique sévère de cette argumentation ».

Le programme est d'une ampleur qui effraierait quiconque serait moins sûr de ses forces. Il embrasse l'évolution totale de l'univers et les évolutions particulières : l'évolution inorganique et l'évolution organique ; il nous promet même un prochain aperçu sur l'évolution intellectuelle et sociale. Pour l'instant les seuls points réservés sont les causes de l'évolution et le problème strictement métaphysique des rapports du monde à la cause première.

Les quelque deux cents pages qui contiennent le développement de ce programme prouvent chez leur auteur une connaissance vraiment étendue de toute la littérature scientifique et philosophique moderne. Il a su dresser un catalogue méthodique des principales opinions émises sur chaque matière. Très brièvement il formule ensuite une critique des solutions relatées. Mais la multiplicité des questions à envisager successivement et l'impossibilité où l'auteur se trouve de développer sa pensée font que son jugement s'ajoute aux opinions recensées sans aider beaucoup à les peser à leur juste poids.

R. DEVISÉ, S. J.

XIV. — ARISTOTE, par CHARLES LALO, agrégé de phil., docteur ès lettres, professeur au Lycée Rollin. — Collection *Les Philosophes*. — Paris, Paul Mellottée, 1922.

Bon petit ouvrage de vulgarisation scientifique et de première initiation. L'exposé, quoique bref (146 p. in-18), est généralement clair et objectif. Nous nous permettrions cependant de faire des réserves pour l'une ou l'autre idée — ou expression du moins — à notre avis inexacte. Ainsi il est dit (p. 22) que les causes efficiente et finale ne sont qu' « un couple secondaire de causes » et qu'elles n'agissent du dehors qu'« en apparence » : cela ne revient-il pas à attribuer à la philosophie Aristotélicienne un caractère nettement immanentiste ou panthéistique? Cependant l'auteur reconnaît lui-même (p. 32) que sur cette question Aristote ne s'est pas prononcé. — A la page 30, M. Lalo applique au Dieu d'Aristote la dénomination d'« être en tant qu'être », tirée du livre IV de la Métaphysique : cette expression pourtant n'y paraît désigner que notre concept d'être, notre notion la plus abstraite, et non pas cet acte pur, cette plénitude de l'être, dont il est question au livre XII du même ouvrage. L'auteur nous dit également (p. 52) qu'Aristote « pose le problème de la liberté essentiellement comme un problème physique, accessoirement comme une question de psychologie et de morale » ; nous pensons plutôt que pour le Stagirite il s'agit avant tout d'un problème de morale et accessoirement d'une question de physique (et de psychologie), comme l'a montré M. Wittmann dans son *Ethik des Aristoteles*, Regensburg, 1920, p. 97-143.

Nous ferions des réserves aussi à propos de quelques comparaisons, trop hâtives et trop générales, avec certaines conceptions modernes, surtout dans les 4 premiers chapitres. Le meilleur chapitre est le VIe, sur la Logique et la Science ; l'auteur a pu y mettre à profit l'enseignement très érudit de ses deux maîtres Hamelin et Rodier, à qui il se reconnaît redevable de ce qu'il y a de meilleur dans cet ouvrage.

J. DEMUNTER, S. J.

OUVRAGES RÉCEMMENT PARUS (1)

H. E. Soper, M. A. — FREQUENCY ARRAYS ILLUSTRATING THE USE OF LOGICAL SYMBOLS IN THE USE OF STATISTICAL AND OTHER DISTRIBUTIONS. — Un volume de 48 pages (21 × 14). — Cambridge, University Press, 1922.

Table des matières : I. Introductory. II. Elementary propositions. Moment arrays. III. Binomical, Poisson, Gaussian, exponential and Gamma type frequences. IV. Samping without replacement and partitioning a limited population. Hypergeometric and kindred frequences. V. Geometrical distributions. Samples of vectors. Random migration.

Maillard, Louis, professeur d'Astronomie à l'Université de Lausanne. — COSMOGONIE ET GRAVITATION. Deux mémoires. — Un vol. de 39 pages (25 × 18), avec 4 figures. — Paris, Gauthier-Villars, 1922. Prix 3 fr.

Table des matières : I. Mise au point des hypothèses cosmogoniques nébulaires. 1° Les hypothèses ; 2° Les anneaux et les tourbillons planétaires ; 3° Formation des planètes et des satellites ; 4° Les concordances.

II. Le mouvement quasi-newtonien et la gravitation. 1° Le mouvement quasi-newtonien et ses applications ; 2° Le mouvement quasi-newtonien et l'électro-dynamique ; 3° Le mouvement quasi-newtonien et la relativité.

W. Kossel. — LES FORCES DE VALENCE ET LES SPECTRES DE RŒNTGEN. Deux mémoires sur la structure électronique de l'Atome. Traduit par M. Golay. — Un volume de 70 pages (25 × 16). — Paris, Blanchard, 1922. Prix 4,50 fr.

Table des matières : I. Sur la nature physique des forces de valence. Bibliographie. II. Le rôle des rayons de Rœntgen dans l'étude de la structure de l'atome. La théorie de l'atome de Bohr. Spectres de Rœntgen. Emission des raies de Rœntgen ; les caractères des séries. Relation entre les différentes séries d'un atome. Les ceintures d'électrons de l'atome. La structure des enceintes. Bibliographie.

Marcel Boll et Georges Allard. — COURS DE CHIMIE (Métaux et Cations). — Un volume de XXI-352 pages (21 × 14). — Paris, Dunod, 1922. — Prix 25 fr.

Table des matières. Extrait : Ouvrages recommandés. Introduction. (Les étapes de l'absorption de la chimie par la physique). — 1° Le système périodique des éléments ; 2° Volumes atomiques

(1) La REVUE mentionne dans cette liste les ouvrages envoyés à la Rédaction. Cette mention est, non une recommandation, mais un accusé de réception.

et propriétés élastiques des métaux ; 3° Propriétés thermiques et changements d'état ; 4° Propriétés électromagnétiques des métaux; 5° Propriétés plastiques des métaux ; 6° Propriétés des métaux écrouis ; 7° Les alliages métalliques ; constitution et procédés d'étude ; 8° Propriétés pratiques des alliages ; 9° Métallurgie ; 10° Réactions chimiques des métaux (voie sèche) ; 11° Transformations réciproques des métaux et des cations (voie humide) ; 12° Propriétés générales des solutions salines ; 13° Classification des cations ; 14° Sels et cations alcalins ; 15° Sels et cations alcalino-terreux ; 16° Les terres rares ; l'homéomérie ; 17° Magnésium, zinc, cadmium ; 18° Groupe de l'aluminium ; 19°, 20° Famille du fer ; 21° Famille de l'étain et du plomb ; 22° Famille de l'antimoine et du bismuth ; 23° Cuivre, mercure, argent ; 24° Or et groupe du platine ; 25° Radio-activité ; 26° Les nouvelles théories de l'affinité chimique. Index historique.

Vacuum Oil Company. — Les Turbines a vapeur horizontales pour installations fixes. — Une brochure de 16 pages (29 × 23). — Paris, Delfossés, 1922.

Cette brochure richement illustrée, décrit les différents types de turbines à vapeur fixes, leur construction, leur fonctionnement et comment on obtient un graissage absolument parfait malgré les conditions sévères auxquelles est soumise l'huile en service dans cette catégorie de machines.

La Vacuum Oil Company, S. A. F., Succursale Belge, 12, rue de la Tribune, qui a publié cette brochure, se fera un plaisir de l'envoyer gracieusement aux industriels qui en feront la demande.

Léon Brunschvicg. — L'Expérience humaine et la causalité physique. — Un volume de XVI-625 pages (22 × 14). — Paris, Alcan, 1922. — Prix : 30 fr.

Extrait de la Table des matières : I. Les théories de l'expérience pure. — II. L'organisation intellectuelle de l'expérience : période préscientifique. — III. L'organisation intellectuelle de l'expérience : ère de la mécanique. — IV. L'organisation intellectuelle de l'expérience : marche des idées physiques. — V. Constitution de la causalité physique. — VI. Les phases de l'expérience humaine.

Émile Picard. — Discours et Mélanges. — Un volume de 294 pages (12 × 14). — Paris, Gauthier-Villars, 1922. — Prix : 10 fr.

Table des matières : La vie et l'œuvre de Pierre Duhem. — La vie et l'œuvre de Lord Kelvin. — Gaston Darboux. — Le commandant Guyou. — Les sciences mathématiques en France depuis un demi-siècle. — Quelques réflexions sur la Science et l'Industrie après la guerre. — L'histoire des sciences et la prétention de la science allemande. — La vaccination antityphoïdique. — Conférence sur la dépopulation. — L'œuvre de Henri Poincaré. — La Science et la recherche scientifique. — Discours prononcé à la séance annuelle de l'Académie des Sciences, le 19 décembre 1910. — Le voyage du « Pourquoi-Pas ? ». — Maurice Levy. — L'aviation française en 1909. — La mécanique classique et ses approximations successives. — Les œuvres de Galois. — Une distribution des prix au Lycée Henri IV.

A. D'Aubigny, A. Celier, A. Delatour, J. Décamps, P. Desforges, Germain Martin, A. Isaac, A. Lebrun, Raoul Péret, A. Ribot. — Problèmes financiers d'après-guerre (Conférences organisées par la Société des Anciens Élèves et Élèves de l'Ecole

libre des Sciences politiques). — Un volume de VIII-245 pages (19 × 12). — Paris, Alcan, 1922. — Prix : 8 fr.

Table des matières : Avant-Propos. — I. La situation financière, par M. [illegible]elier. — II. Le problème budgétaire, par M. D'Aubigny. — III. Les réparations, par M. Germain-Martin. — IV. La politique monétaire, par J. Décamps. — V. La reconstitution du pays, par Desforges.

Jacques Rueff. — DES SCIENCES PHYSIQUES AUX SCIENCES MORALES. Introduction à l'étude de la morale et de l'économie politique rationnelles, Préface de M. C. Colson, membre de l'Institut, ancien élève de l'École Polytechnique. — Un volume de 202 pages (14 × 12). Collection « Les Questions du Temps présent », publiée sous la direction de MM. Émile Borel et Georges Dumas. — Paris, Alcan, 1922. — Prix : 8 fr.

Dans cet ouvrage, l'auteur a essayé de démontrer que l'explication scientifique est une et qu'elle prend la même forme dans les Sciences physiques et dans les Sciences morales.

Il étudie d'abord les Sciences physiques. Il indique ensuite, dans une étude détaillée des principales théories morales, comment elles rentrent dans le cadre général de l'explication scientifique et enfin, en ébauchant une théorie d'économie politique mathématique, il prouve que la méthode est générale et permet de rendre logiques les lois économiques que l'observation nous révèle.

Bertrand Russell. — LE MYSTICISME ET LA LOGIQUE. — Un vol. de 161 pages (12 × 19). — Paris, Payot, 1922. — Prix : 4,50 fr.

Table des matières : Préface du traducteur. — I. Le mysticisme et la logique : 1° La raison et l'intuition ; 2° L'unité et la pluralité ; 3° Le temps ; 4° Le Bien et le Mal. — II. L'étude des mathématiques. — III. La méthode scientifique en philosophie. — IV. De l'idée de cause.

Fr. Agostino Gemelli, O. F. M. — RELIGIONE E SCIENZA. — Un volume de 370 pages (19 × 12). — Milano, « Vita e Pensiero », 1922. — 5 lires.

Table des Matières : Il conflitto di religione e scienza. — Bestie che pensano e fanno di conti e... uomini che non ragionano. — I miracoli della biologia. — Spiritismo e spiritisti. — Una epidemia diffusa dalle pratiche religiose. — Il processo e la condanna di Galileo.

C. B. De Toni. — LE PIANTE E GLI ANIMALI IN LEONARDO DA VINCI. — Un volume de XIX-283 pages (24 × 17). — Bologna, Nicola Zanichelli, 1922. — Prix : 20 lires.

Extrait de la table des matières : I. Botanica generale. — II. Botanica artistica. — III. Botanica applicata. — IV. Degli alberi e delle verdure. — V. Le note zoologiche. — VI. Gli studi sul cavallo. — VII. Gli studi su altri animali. — VIII. Gli studi sul volo. — IX. L'anatomia e l'embriologia negli animali. — X. Le facezie e gli enigmi. — XI. Le favole.

COMPTE RENDU DE LA CÉLÉBRATION DU 150e ANNIVERSAIRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE. — Un volume de 93 pages (26 × 16). — Bruxelles, Lamertin, 1922.

TABLE DES MATIÈRES

DU

DEUXIÈME VOLUME (QUATRIÈME SÉRIE)

TOME LXXXII DE LA COLLECTION

Livraison de juillet 1922

LETTRE DE S. S. PIE XI 5

LE RADIUM. DÉCOUVERTE. PROPRIÉTÉS. UTILISATION, par **M. M. D'Halluin** 7

UN BILAN DE LA PROTISTOLOGIE, par **M. P. Debaisieux**. . 65

LES CHOCS EN MÉDECINE ET EN BIOLOGIE, par **M. Delassus**. 87

LES GREFFES OSSEUSES, par **M. C. Lepoutre** 105

LE RÔLE DU TEMPS DANS LA PRODUCTION, par **M. J. Wilbois**. 118

VARIÉTÉS. — I. *Ancienne médecine arabe (Suite)*, par **J. M., S. J.** 135

II. *Les combustibles aux États-Unis. Le pétrole. Le gaz naturel,* par **J. Charles, S. J.** 152

REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES.

ASTRONOMIE, 1921, par **M. M. Alliaume**. 172

GÉOLOGIE, par **M. F. Kaisin** 199

HYGIÈNE ET INDUSTRIE ALIMENTAIRES, par **M. J. B. André**. 221

BIBLIOGRAPHIE. — I. Geschichte der Elementar-Mathematik, in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter, par D. Johannes Tropfke, **H. Bosmans**. 235

II. The fourth dimension, par E. H. Neville. — Fondamenti di calcolo delle variazioni, par Leonida Tonelli, **M. Lecat** 238

III. La recherche des lieux géométriques en géométrie analytique, par Pol Simon, **I. P.** 242

IV. Vue d'ensemble sur les machines à calculer, par M. d'Ocagne. — Origine et formation des mondes,

par l'abbé Th. Moreux. — Gnomonique ou traité théorique et pratique de la construction des cadrans solaires, par G. Bigourdan, **M. Alliaume.** 243

V. Cours de physique générale. Thermodynamique et étude de l'énergie rayonnante, par H. Ollivier. — L'espace et le temps, par E. Borel. — Rayonnement et gravitation, par F. Michaud. — L'erreur de M. Einstein. L'inacceptable théorie, par M. Dubroca. — Le principe de la relativité et les théories d'Einstein, par L. G. Du Pasquier. — Exposé élémentaire de la théorie d'Einstein et de sa généralisation, par J. Becquerel. — La théorie de la relativité exposée sans mathématiques, par P. Kirchberger. — Une nouvelle figure du monde. Les théories d'Einstein, par L. Fabre. — Le principe de la relativité et la théorie d'Einstein, par L. Bloch. — La teoria de la relatividad en la fisica moderna. Lorentz, Minkowski, Einstein, par J. Ubach, S. J. — La théorie einsteinienne de la gravitation, par G. Mie, **H. Dopp** 247

VI. Le premier livre de l'amateur en T. S. F., par J. Roussel, **J. D.** 256

VII. Manuel de l'électricien. Installations électriques particulières, par P. Maurer, **L. C.** 257

VIII. Dictionnaire anglais-français-allemand de mots et locutions intéressant la physique et la chimie, par R. Cornubert, **L. P.** 258

IX. Les disciplines d'une science : la chimie, par G. Urbain, **J. P.** 259

X. Die Theorie der Allotropie, par A. Smits. — Distillation principles and processes, par Sydney Young, **M. Lecat.** 261

XI. Traité pratique de géologie, par P. Lemoine, **F. Kaisin** 267

XII. A la gloire de la terre. Souvenirs d'un géologue, par P. Termier. — L'Océanographie, par J. Thoulet, **G. Schmitz, S, J** 269

XIII. Nutrition de la plante. — 1. Échanges d'eau et de substances minérales. 2. Formation des substances ternaires, par M. Molliard. — Le parasitisme et la symbiose, par M. Caullery, **E. E.** . . . 272

XIV. De l'explication dans les sciences, par E. Meyerson. — Le système des Sciences. Le Vrai, l'Intelligible et le Réel, par E. Goblot, **J. Maréchal, S. J.** . . 275

XV. L'origine et l'évolution de la vie, par H. F. Osborn. — Les tropismes dans le comportement animal, par M. Manquat, **J. Maréchal, S. J.** 282

XVI. A history of the association psychology, par H. C. Warren. — Introduction à la psychologie. L'instinct et l'émotion, par J. Larguier des Bancels, **J. Maréchal, S. J.** 285
XVII. Publicazioni dello Istituto di studii Vinciani in Roma. — 1. La critica e l'arte di Leonardo da Vinci, par L. Venturi. 2. Leonardo da Vinci pittore, par A. Venturi. 3. Leonardo da Vinci e la geologia, par G. di Lorenzo. — Les penseurs de l'Islam, par le baron Carra de Vaux. — The Sadhu, par B. H. Streeter et A. J. Appasamy, **J. Maréchal, S. J.** 289
XVIII. La nouvelle éducation française, par J. Wilbois, **J. Misson, S. J.** 297
XIX La Chine, par H. Cordier, **J. F.** 299
XX Le règne de la relativité, par le vicomte Haldane, **H. Dopp** 300
XXI L'Académie royale de Belgique depuis sa fondation (1772-1922), **R. Lange, S. J.** 301
Ouvrages récemment parus 303

Livraison d'octobre 1922

La carrière et les travaux de Pasteur, par **M. R. Bruynoghe** 313
Le calcul des probabilités, par le **R. P. B. Lefebvre, S. J.** 342
Les dimensions des étoiles, par **M. R. Lange** 365
Le comportement animal. Les effets de la lumière et de la pesanteur sur une chenille, par **M. M. Manquat.** . 386
Les fonctions motrices du cerveau, par **M. G. Battez** . 404
Sciences et métaphysique, par le **R. P. Pr. Colmant, S. J** 427
Variétés. — I. Les théories d'Einstein exposées par Jean Becquerel, par **M. Ph. du Plessis** 447
II. Une hypothèse scientifique sur le problème des baguettisants, par **M. Ch. Poisson** 461
Revue des Recueils périodiques.
Biologie. Les mitochondries chez les végétaux, par **M. A. Grandsire** 471
Bibliographie. — 1. Leçons sur le problème de Pfaff, par Édouard Goursat. — Leçons sur les invariants intégraux, par E. Cartan. — Introduction à la géométrie non-euclidienne, par A. Mac Leod, **M. O.** 515

II. Introduction au calcul tensoriel et au calcul différentiel absolu, par G. Juvet, **H. D.** 526
III. Histoire de l'Astronomie, par E. Doublet, **M. Alliaume** 527
IV. Cours de Physique mathématique de la Faculté des Sciences, par J. Boussinesq, **M. Alliaume** . 529
V. Pour comprendre Einstein !, par l'abbé Th. Moreux. — La teoria della relatività, par G. Gianfranceschi, **H. Dopp**. 535
VI. Méthodes actuelles d'expertise employées au laboratoire municipal de Paris et documents sur les matières relatives à l'alimentation. Tome V. Eaux et Air, par A. Kling, **H. S.** 536
VII. L'Industrie du fer en France, par J. Levainville. — L'acier. Élaboration et Travail, par J. Rouelle, **H. Thyssen** 538
VIII. Les Poissons, leur vie et leur pêche, par L. Roule. — Le Pétrole, par A. Martin, **G. Schmitz, S. J.** 549
IX. Les maladies parasitaires des plantes, par M. Nicolle et J. Magrou, **J. P.** 543
X. L'organisation de la matière dans ses rapports avec la vie, par J. Nageotte, **R. Devisé, S. J.** . 544
XI. Les secrets de la baguette et l'art du sourcier. Étude théorique et pratique, par B. Padey, **C. Poisson**. 546
XII. La notion d'espace, par D. Nys, **P. Scheuer, S. J.** 547
XIII. L'Évolution universelle, par B. Petroniewicz, **R. Devisé, S. J.** 550
XIV. Aristote, par Ch. Lalo, **J. Demunter, S. J.** . . 551
Ouvrages récemment parus 552

Louvain. — Imp. F. Ceuterick, rue Vital Decoster, 60.

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

ASSOCIATION SANS BUT LUCRATIF

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. Cath., c. IV.

QUATRIÈME SÉRIE

TOME II — 20 JUILLET 1922

(QUARANTE ET UNIÈME ANNÉE ; TOME LXXXII DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(MM. F. Willaert et H. Dopp)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11
Compte chèques postaux 38022

1922

LIVRAISON DE JUILLET 1922

I. LETTRE DE S. S. PIE XI, p. 5.

II. LE RADIUM. DÉCOUVERTE. PROPRIÉTÉS. UTILISATION, par **M. M D'halluin**, p. 7.

III. UN BILAN DE LA PROTISTOLOGIE, par **M. P. Debaisieux**, p. 65.

IV. LES CHOCS EN MÉDECINE ET EN BIOLOGIE, par **M. Delassus**, p. 87.

V. LES GREFFES OSSEUSES, par **M. C. Lepoutre**, p. 105.

VI. LE ROLE DU TEMPS DANS LA PRODUCTION, par **M. Joseph Wilbois**, p. 118.

VII. VARIÉTÉS. — I. *Ancienne médecine arabe (suite)*, par **J. M., S. J.**, p. 1 5. — II. *Les combustibles aux États-Unis. Le pétrole. Le gaz naturel*, par **J. Charles, S. J.**, p. 152.

VIII. REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — I Astronomie 1921, par **M. M. Alliaume**, p. 172. — II. Géologie, par **M. F. Kaisin**, p. 199. — III. Hygiène et industrie alimentaires, par **M. J. B. André**, p. 221.

IX. BIBLIOGRAPHIE. — I Geschichte der Elementar-Mathematik, in systematischer Darstellung mit besonderer Berücksichtigung der Fachwörter, par D. Johannes Tropfke, p. 235, **H. Bosmans.** — II. The fourth dimension, par E. H. Neville, p. 238; Fondamenti di calcolo delle variazioni, par Leonida Tonelli, p. 240, **M. Lecat.** — III. La recherche des lieux géométriques en géométrie analytique, par Pol Simon, p. 242, **I. P** — IV. Vue d'ensemble sur les machines à calculer, par M. d'Ocagne, p. 243; Origine et formation des mondes, par l'Abbé Th. Moreux, p. 244; Gnomonique ou traité théorique et pratique de la construction des cadrans solaires, par G. Bigourdan, p. 247, **M. Alliaume.** — V. Cours de physique générale. Thermodynamique et étude de l'énergie rayonnante, par H. Ollivier, p. 247; L'espace et le temps, par É. Borel, p. 248; Rayonnement et gravitation, par F. Michaud, p. 249; L'erreur de M. Einstein. L'inacceptable théorie, par M. Dubroca, p. 250; Le principe de la relativité et les théories d'Einstein, par L. G. Du Pasquier, p. 251; Exposé élémentaire de la théorie d'Einstein et de sa généralisation, par J. Becquerel, p. 252: La théorie de la relativité exposée sans mathématiques, par P. Kirchberger, p. 253; Une nouvelle figure du monde Les théories d'Einstein, par L. Fabre, p. 253; Le principe de la relativité et la théorie d'Einstein, par L. Bloch, p. 254; La teoria de la relatividad en la fisica moderna. Lorentz, Minkowski, Einstein, par J. Ubach, S. J., p. 254; La théorie einsteinienne de la gravitation, par G. Mie, p. 255, **H. Dopp.** — VI. Le premier livre de l'amateur en T. S. F., par J. Roussel, p. 256, **J. D.** — VII. Manuel de l'électricien. Installations électriques particulières, par P. Maurer, p. 257, **L C.** — VIII. Dictionnaire anglais-français-allemand de mots et locutions intéressant la physique et la chimie, par R. Cornubert, p. 258, **I. P.** — IX. Les disciplines d'une science : la chimie, par G. Urbain, p. 259, **J. P.** — X. Die Theorie der Allotropie, par A. Smits, p. 261 : Distillation principles and processes, par Sydney Young, p. 264, **M. Lecat.** — XI. Traité pratique de géologie, par P. Lemoine, p. 267, **F. Kaisin.** — XII. A la gloire de la terre. Souvenirs d'un géologue, par P. Termier, p. 269; L'Océanographie, par J. Thoulet, p. 271, **G. Schmitz, S. J.** — XIII. Nutrition de la plante. 1. Échanges d'eau et de substances minérales. 2 Formation des substances ternaires, par M. Molliard, p. 272; Le parasitisme et la symbiose, par M. Caullery, p. 274, **E. E.** — XIV De l'explication dans les sciences, par E. Meyerson, p. 275; Le système des Sciences. Le Vrai, l'Intelligible et le Réel, par E. Goblot, p. 279, **J. Maréchal, S. J.** — XV. L'origine et l'évolution de la vie, par H. F. Osborn, p. 282; Les tropismes dans le comportement animal, par M. Manquat, p. 284, **J. Maréchal, S. J.** — XVI. A history of the association psychology, par H C. Warren, p. 285; Introduction à la psychologie. L'instinct et l'émotion, par J. Larguier des Bancels, p. 287; **J. Maréchal, S. J.** — XVII. Publicazioni dello Istituto di studii Vinciani in Roma. 1. La critica e l'arte di Leonardo da Vinci, par L. Venturi. 2. Leonardo da Vinci pittore, par A. Venturi. 3. Leonardo da Vinci e la geologia, par G. di Lorenzo, p. 289; Les penseurs de l'Islam, par le baron Carra de Vaux, p. 294; The Sadhu, par B. H. Streeter et A. J. Appasamy, p. 295, **J. Maréchal, S. J.** — XVIII. La nouvelle éducation française, par J. Wilbois, p. 297, **J. Misson, S. J.** — XIX. La Chine, par H. Cordier, p. 299, **J. F.** — XX. Le règne de la relativité, par le vicomte Haldane, p. 300, **H. Dopp.** — XXI. L'Académie royale de Belgique depuis sa fondation (1772-1922), p. 301, **R. Lange, S. J.**

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20,00**
t. XL et XLI, 1922. Chaque vol. . . . . fr. **30,00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3,00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, 1902 à 1921. Trente volumes. Quatrième série commencée en 1922. Les deux volumes annuels, in-8°, avant 1920, fr. **20,00** ; à partir de 1920, fr. **40,00**.
Le fascicule trimestriel, avant 1920, fr. **6,00** ; à partir de 1920, fr. **10,00**.

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de . fr. **5,00** (pour les abonnés 2 fr.)

TABLE ANALYTIQUE des volumes de la troisième série de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. (Tomes LI à LXXX — 1902-1921). Un vol. in 8° de X-162 pages. Prix : **7 francs** (pour les abonnés 6 fr.).

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11,25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1,00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905) . . fr. **2,00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé) (1). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*, G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*, M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*, M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*, G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J. - *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0,75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908). fr. **0,75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914 ». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4,00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4,00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3,00**

M. Alliaume. Revue annuelle d'Astronomie (1920). Un vol. de 44 pp. (20×13) . . . . . fr. **1,50**

---

(1) On peut trouver les articles de ce premier volume épuisé dans les livraisons d'avril et juillet 1906 de la *Revue des Questions scientifiques*.

LIVRAISON D'OCTOBRE 1922

I. LA CARRIÈRE ET LES TRAVAUX DE PASTEUR, par **M. R. Bruynoghe**, p. 313.

II. LE CALCUL DES PROBABILITÉS, par le **R. P. B. Lefebvre**, p. 342.

III. LES DIMENSIONS DES ÉTOILES, par **M. R. Lange**, p. 365.

IV. LE COMPORTEMENT ANIMAL. *Les effets de la lumière et de la pesanteur sur une chenille*, par **M. M. Manquat**, p. 386.

V. LES FONCTIONS MOTRICES DU CERVEAU, par **M. G. Battez**, p. 404.

VI. SCIENCES ET MÉTAPHYSIQUE, par le **R. P. Pr. Colmant**, p. 427.

VII. VARIÉTÉS. — I. *Les théories d'Einstein exposées par Jean Becquerel*, par **M. Ph. du Plessis**, p. 447. — II. *Une hypothèse scientifique sur le problème des baguettisants*, par **M. Ch. Poisson**, p. 461.

VIII. REVUE DES RECUEILS PÉRIODIQUES. — Biologie. Les mitochondries chez les végétaux, par **M. A. Grandsire**, p. 471.

IX. BIBLIOGRAPHIE. (Voir la Table des Matières, p. 557.)

Vient de paraitre : la TABLE ANALYTIQUE des volumes de la troisième série de la Revue des Questions scientifiques (tomes LI à LXXX, 1902-1921). Un vol. de x-162 pages du format de la REVUE.

Cette table est construite d'après les mêmes principes et avec la même méthode que celle des cinquante premiers volumes dont elle est la continuation. Elle en partage donc toute l'utilité pour qui veut tirer parti des richesses d'information et de doctrine accumulées dans les divers fascicules de cette excellente collection.

La nouvelle table se vend 7 francs, 6 francs pour les abonnés à la REVUE.

La commande adressée au Secrétariat de la Société scientifique sera service franco dès que le Secrétariat aura reçu le montant du prix du volume. Le mode de paiement le plus avantageux est, pour la Belgique, le recours au service des chèques postaux, pour l'étranger, l'envoi d'un mandat international, ou d'un chèque sur Bruxelles, ou sur Paris.

Secrétariat de la Société scientifique de Bruxelles, 11, rue des Récollets, Louvain (Belgique). Compte de chèques postaux, n° 38022.

PUBLICATIONS DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE

ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES, t. I à t. XXXIX, 1875 à 1920. Chaque vol. in-8° de 400 à 600 pages fr. **20,00**
t. XL, 1921, et XLI, 1922. Chaque vol. . . . . fr. **30,00**

TABLE ANALYTIQUE des vingt-cinq premiers volumes des ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE (1875-1901). Un vol. in-8° de 250 pages (1904), en vente au prix de . . . . . fr. **3,00**

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. Première série, 1877 à 1891. Trente volumes. Seconde série, 1892 à 1901. Vingt volumes. Troisième série, 1902 à 1921. Trente volumes. Quatrième série commencée en 1922. Les deux volumes annuels, in-8°, avant 1920, fr. **20,00** ; à partir de 1920, fr. **40,00**.
Le fascicule trimestriel, avant 1920, fr. **6,00** ; à partir de 1920, fr. **10,00**.

TABLE ANALYTIQUE des cinquante premiers volumes de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES (1877-1901). Un vol. in-8° de XII-168 pages, petit texte (1904), en vente au prix de . fr. **5,00** (pour les abonnés 2 fr.)

TABLE ANALYTIQUE des volumes de la troisième série de la REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES. (Tomes LI à LXXX — 1902-1921). Un vol. in 8° de X-162 pages. Prix : **7 francs** (pour les abonnés 6 fr.).

Ph. Gilbert. Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif. Deuxième édition (1889). Un vol. in-8° de 150 pages . . . . . fr. **11,25**

DISCUSSION SUR LE FŒTICIDE MÉDICAL. Brochure in-8° de 38 pp. (1904) (épuisé) . . . . . fr. **1,00**

LA CRISE DU LIBRE-ÉCHANGE EN ANGLETERRE. Rapports de MM. G. Blondel, Ch. Dejace, A. Viallate, Emm. de Meester, P. de Laveleye, Éd. Van der Smissen. Brochure in-8° de 121 pages (1905) . . fr. **2,00**

LES PORTS ET LEUR FONCTION ÉCONOMIQUE : T. I. *Introduction*, Éd. Van der Smissen. I. *La Fonction économique des Ports dans l'Antiquité grecque*, H. Francotte. II. *Bruges au Moyen âge*, G. Eeckhout. III. *Barry*, H. Laporte. IV. *Beira*, Ch. Morisseaux. V. *Liverpool*, P. de Rousiers. VI. *Anvers*, E. Dubois et M. Theunissen. VII. *Les Ports et la vie économique en France et en Allemagne*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 183 pages, figures et plans (Épuisé) (1). — **T. II.** VIII. *Londres*, G. Eeckhout. IX. *Délos*, A. Roersch. X. *Rotterdam*, J. Charles. XI. *Gênes au Moyen âge*, J. Hanquet. XII. *Marseille*, G. Blondel. Un vol. in-8° de 123 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. III.** XIII. *Le Port moderne de Gênes*, M. Theunissen. XIV. *Ostende*. L.-Th. Léger. XV. *Jaffa*, P. Gendebien. XVI. *Lisbonne*, Ch. Morisseaux. XVII. *Le Havre*, G. Blondel. XVIII. *Hambourg*, P. de Rousiers et J. Charles. XIX. *Rio-de-Janeiro*, F. Georlette. XX. *Han-Kow*. A. Vanderstichele. Prix : 3 francs. — **T. IV.** XXI. *Barcelone et Bilbao*, J. Charles. XXII. *Buenos-Aires*, M. Theunissen. XXIII. *Brême*, J. Charles. XXIV. *New York*, Paul Hagemans. XXV. *Le Port de Pouzzoles dans l'Antiquité, d'après un livre récent*, Alphonse Roersch. XXVI. *Shanghaï*, A. A. Fauvel. XXVII. *Zeebrugge*, J. Nyssens-Hart. Un vol. in-8° de 184 pages, figures et plans. Prix : 3 francs. — **T. V.** XXVIII. *Rouen*. G. Blondel. XXIX. *Montréal*, M. Dewavrin. XXX. *Seattle et Tacoma*. M. Rondet-Saint. XXXI. *Trieste, Fiume, Venise*. M. Dewavrin. XXXII. *Venise au Moyen âge*, C. Terlinden. XXXIII. *Les ports du Nord-Est de l'Angleterre*, J. Meuwissen. — *Conclusions*. G. Blondel. — *Appendices : L'administration des Ports*, J. Charles, S. J.- *L'industrie des transports maritimes*, H. Mansion. Prix : 3 francs

SUR QUELQUES POINTS DE MORALE SEXUELLE DANS SES RAPPORTS AVEC LA MÉDECINE. Rapport de M. le Dr X. Francotte. Brochure in-8° de 48 pages (1907) . . . . . fr. **0,75**

DE LA DÉPOPULATION PAR L'INFÉCONDITÉ VOULUE. Rapport de M. le Dr Henri Desplats, et discussion. Brochure in 8° de 29 pages (1908). fr. **0,75**

Éd. de Moreau. La Bibliothèque de l'Université de Louvain « 1636-1914 ». Un vol. in-8° de 114 pp., avec 10 planches hors texte (1918) . fr. **4,00**

E. Ariès, correspondant de l'Institut. Thermodynamique. Propriétés générales des fluides. Un vol. in-8° de 68 pages (1920) . . . . . fr. **4,00**

B. Lefebvre, S. J. Notes d'Histoire des Mathématiques (Antiquité et Moyen-Age). Un vol. in-8° de IV-154 pages (1920) . . . . . fr. **3,00**

M. Alliaume. Revue annuelle d'Astronomie (1920). Un vol. de 44 pp. (20×13) . . . . . fr. **1,50**

---

(1) On peut trouver les articles de ce premier volume épuisé dans les livraisons d'avril et juillet 1906 de la *Revue des Questions scientifiques*.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

QUATRIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de trois séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901) ; la **troisième**, 30 volumes (1902-1921). La livraison de janvier 1922 inaugure la **quatrième série**.

La revue paraît en livraisons trimestrielles, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux**, où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Revue des Revues et des Publications périodiques**, où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

La **troisième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique**, où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

Chaque livraison contient ordinairement aussi un ou plusieurs articles de **Variétés**.

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la Revue des Questions scientifiques est de **37 francs** par an pour la Belgique, **39 francs** pour la France et **44 francs** pour les autres pays. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles jouissent d'une réduction de **5 francs**.

L'abonnement court jusqu'à ordre contraire.

Table analytique des cinquante premiers volumes de la Revue. Un vol. du format de la Revue de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

Table analytique des volumes de la troisième série, (51e à 80 de la collection 1902-1921). Un volume du format de la Revue de X-162 pages. Prix : 7 francs ; pour les abonnés, 6 francs.

Des volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'***Administration** *au Secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, Louvain.* Compte chèques postaux n° 38022.

Une Notice sur la Société scientifique, son but, ses travaux, est envoyée gratuitement à ceux qui en font la demande au Secrétariat.

Louvain. — Imp. « Établissements F. Ceuterick », rue Vital Decoster, 60.

.2 1922

AMNH LIBRARY
100226282